



TUGAS AKHIR - TM 141585

**ANALISA HIDDEN CAPACITY DENGAN
PERMODELAN GATE CYCLE PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
STUDI KASUS PADA PLTU AIR ANYIR BANGKA
UNIT 2 KAPASITAS 30 MW PT PLN (PERSERO)**

**DONI MUHAROM
NRP 2112100072**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - TM 141585

**ANALYSIS OF HIDDEN CAPACITY WITH
MODELING GATE CYCLE STEAM POWER
PLANT
STUDY CASE BANGKA BELITUNG POWER
PLANT CAPACITY 30 MW UNIT 2 PT PLN (Persero)**

DONI MUHAROM
Registration No. 2112100006

Academic Advisor :
Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc

DEPARTMENT MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**ANALISA HIDDEN CAPACITY DENGAN
PERMODELAN GATE CYCLE PADA PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA UAP
STUDI KASUS PADA PLTU AIR ANYIR BANGKA UNIT
2 KAPASITAS 30 MW PT PLN (PERSERO)**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DONI MUHAROM
NRP. 2112 100 072

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. ATOK SETIAWAN, M.Eng.Sc.....(Pembimbing)
(NIP. 196604021989031002)
2. Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT.....(Penguji I)
(NIP.197104051997021001)
3. Ary Bachtiar Khrisna P., ST, MT, Ph.D.....(Penguji II)
(NIP. 197105241997021001)
4. Dr. Bambang Sudarmanta, ST. MT.....(Penguji III)
(NIP. 197301161997021001)

**SURABAYA
JULI, 2016**

**ANALISA HIDDEN CAPACITY DENGAN
PERMODELAN GATE CYCLE PADA PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA UAP
STUDI KASUS PADA PLTU AIR ANYIR BANGKA
UNIT 2 KAPASITAS 30 MW PT PLN (PERSERO)**

Nama Mahasiswa : Doni Muharom
NRP : 2112 100 072
Jurusan : Teknik Mesin, FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya, hal ini seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi. Namun tingginya kebutuhan energi listrik belum mampu dipenuhi mengingat keterbatasan daya listrik yang ada. Hal ini ditandai dengan pemadaman listrik bergilir yang masih terus terjadi. Salah satu usaha yang dilakukan pemerintah untuk menambah pasokan energi listrik dengan membangun pembangkit listrik baru dan mengoptimalkan pembangkit listrik yang telah ada dengan melakukan konservasi energi. Tuntutan pembangkit listrik tenaga uap harus mempunyai efisiensi daya yang besar mengakibatkan faktor efisiensi merupakan hal yang sangat penting dan selalu menjadi pembahasan utama. Namun, pada PLTU 3 Air Anyir Bangka mengalami penurunan daya yang cukup besar, hal tersebut dikarenakan ketika keadaan komisioning menggunakan batu bara dengan kalor yang sangat tinggi (High Rank), tetapi pada saat ini pembangkit tersebut menggunakan batu bara dengan nilai kalor yang rendah (Low Rank), sehingga menyebabkan kerugian besar setiap

harinya oleh pihak PLN. Oleh karena itu, perlu di lakukan analisa pada PLTU 3 Air Anyir Bangka agar performa dari pembangkit dapat kembali seperti keadaan design.

Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini, diawali dengan pengambilan data PLTU. Metode analisa unjuk kerja pembangkit dilakukan dengan analisa termodinamika dan menjalankan software pembangkit ,yaitu gatecycle. Data yang di gunakan disesuaikan dengan kondisi operasi dan data desain di PLTU 3 Air Anyir Bangka. Variasi yang dipakai pada metode ini adalah variasi batu bara terhadap pembebanan dan efisiensi.

Hasil yang di dapatkan pada penelitian ini adalah dengan meningkatkan konsumsi bahan bakar kita dapat meningkatkan beban, tetapi batas maksimumnya adalah 80% dari coal feeder yaitu 20 t/h, sehingga bahan bakar yang direkomendasikan adalah 4298,64kcal/kg. pada software Gate Cycle di dapatkan konsumsi bahan bakar dan efisiensi dari bahan bakar 5145 kcal/kg, 3928 kcal/kg,dan 4298,64kcal/kg adalah 16,71t/h, 21,94t/h,dan 20t/h dan efisiensi adalah 30,03%, 25,45%, dan 26,71%. Sedangkan heat rate adalah 11651,1 kj/kWh, 11759 kj/kWh, dan 11852,1 kj.kWh. kemudian pada analisa perhitungan di dapatkan efisiensi adalah 30,22%, 26,62%, dan 27,9%. Heat rate pada analisa perhitungan adalah 11985,95 kj/Kwh, 12262 kj,kWh, dan 11964 kj/kWh.

Kata kunci : Batu Bara, Hidden Capacity, Efisiensi, Bahan Bakar

ANALYSIS OF HIDDEN CAPACITY WITH MODELING GATE CYCLE STEAM POWER PLANT STUDY CASE BANGKA BELITUNG POWER PLANT CAPACITY 30 MW UNIT 2 PT PLN (PERSERO)

Name : Doni Muharom
NRP : 2112100072
Department : Teknik Mesin, FTI-ITS
Advisor : Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc

ABSTRACT

Electricity demand in Indonesia has increased every year, this is following with economic growth and population growth are quite high. However, the high electrical energy demand not able to fulfill given the limitations of the existing electric power. It is characterized by rolling blackouts are still happening. One of the solutions made by the government to increase the supply of electric energy by building new power plants and optimizing existing power plants to conserve energy. Demands steam power plant must have great power efficiency resulting in an efficiency factor is very important and has always been a major discussion. However, the power plant 3 Air Anyir Bangka decreased considerable power, it is because when the state of the commissioning of using coal with a calorific very high (High Rank), but at this time the plant using coal with a calorific value of low (Low Rank), causing huge losses every day by PLN. Therefore, it is necessary to do an analysis of the power plant 3 Air Anyir Bangka so that the performance of the plant can be returned to the state of design.

The step used in this research, starting with data capture plant right this time. Methods of analysis with the plant performance and thermodynamic analysis software running plants, namely gatecycle. Data used and adapted to the operating conditions at the power plant design data 3 Air Anyir Bangka.

Variations used in this method is a variation of coal to loading and efficiency.

The results that it got on this research is to improve the fuel consumption we can increase the load, but the maximum limit is 80% of the coal feeder which is 20 t / h, so that the fuel recommended is 4298,64kcal / kg. the software Gate Cycle, get fuel consumption and fuel efficiency of 5145 kcal / kg, 3928 kcal / kg, and 4298,64kcal / kg is 16,71t / h, 21,94t / h and 20t / h and efficiency is 30.03%, 25.45% and 26.71%. While the heat rate is 11651.1 kJ / kWh, 11759 kJ / kWh, and 11852.1 kJ.kWh. then the analysis calculation get efficiency is 30.22%, 26.62% and 27.9%. Heat rate at the calculation analysis is 11985.95 kJ / Kwh, 12 262 kJ, kWh, and 11964 kJ / kWh.

Keywords : Coal, Hidden Capacity, efficiency,fuel

DAFTAR ISI

<u>Abstrak</u>	i
<u>Kata Pengantar</u>	iii
<u>Daftar Isi</u>	v
<u>Daftar Gambar</u>	ix
<u>Daftar Tabel</u>	xi
<u>BAB 1</u>	1
<u>PENDAHULUAN</u>	1
<u>1.1 Latar Belakang</u>	1
<u>1.2 Rumusan Masalah</u>	4
<u>1.3 Batasan Masalah</u>	4
<u>1.4 Tujuan Penelitian</u>	5
<u>1.5 Manfaat Penelitian</u>	5
<u>BAB 2</u>	6
<u>Tinjauan Pustaka</u>	6
<u>2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)</u>	6
<u>2.1.1 Hidden Capacity</u>	7
<u>2.2 Siklus Rankine</u>	8
<u>2.3 Komponen Pendukung Siklus Rankine</u>	15
<u>2.3.1 Boiler</u>	15
<u>2.3.2 Turbin Uap</u>	26
<u>2.4 Penelitian Terdahulu</u>	27

BAB 3	30
<u>METODOLOGI PENELITIAN</u>	30
<u>3.1 Metode Penelitian</u>	30
<u>3.2 Pengolahan Data</u>	32
<u>3.3 Flowchart Penelitian</u>	34
<u>3.4 Flowchart Pemodelan dengan Software Gate Cycle</u>	36
<u>3.5 Flowchart Perhitungan</u>	38
<u>3.6 Metode Perhitungan</u>	40
<u>3.6.1 Metode Analisa Total PLTU</u>	40
<u>3.6.2 Metode Analisa Perhitungan Pembangkit</u>	40
BAB IV	44
<u>ANALISA DAN PEMBAHASAN</u>	44
<u>4.1 Data yang dibutuhkan dalam simulasi</u>	44
<u>4.1.1 Data Heat Balance dan CCR</u>	44
<u>4.1.2 Spesifikasi Komponen Utama Penyusun PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung</u>	47
<u>4.1.3 Spesifikasi Bahan Bakar PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung</u>	49
<u>4.2 Proses Pemodelan dan Input Data Kondisi Operasi Beban 100% (30 MW)</u>	50
<u>4.3 Proses Running dan Validasi</u>	53

<u>4.4</u>	<u>Proses Simulasi PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung</u>	<u>55</u>
<u>4.4.1</u>	<u>Proses Simulasi PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung dengan Beban 100% (30 MW) saat bahan bakar 5145 Kcal/kg</u>	<u>55</u>
<u>4.4.2</u>	<u>Proses Simulasi PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung dengan Beban 22 MW saat bahan bakar 3928 Kcal/kg.....</u>	<u>56</u>
<u>4.5</u>	<u>Analisis Data perhitungan Hasil Simulasi.....</u>	<u>57</u>
<u>4.5.1</u>	<u>Analisa Perhitungan pada saat Bahan Bakar LHV 5145 Kcal/kg dan Beban 30 MW.....</u>	<u>57</u>
<u>4.6</u>	<u>Pembahasan Hasil Simulasi Pengaruh Perubahan Bahan Bakar Terhadap performa PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung.</u>	<u>58</u>
<u>4.6.1</u>	<u>Pengaruh Bahan Bakar terhadap Mass Flow Steam inlet turbine.....</u>	<u>59</u>
<u>4.6.2</u>	<u>Pengaruh Konsumsi Bahan Bakar terhadap Kalor Bahan Bakar.....</u>	<u>61</u>
<u>4.6.3</u>	<u>Pengaruh Perubahan Bahan Bakar terhadap Net Power Output.....</u>	<u>62</u>
<u>4.6.4</u>	<u>Pengaruh Perubahan Bahan bakar terhadap Net Thermal Efficiency.....</u>	<u>63</u>
<u>4.6.5</u>	<u>Pengaruh Perubahan Bahan Bakar terhadap Net Heat Rate.....</u>	<u>65</u>

4.7.1	<u>Analisa Perhitungan Efisiensi Boiler Indirect</u>	
Method	66
4.7.2	<u>Analisa Perhitungan Efisiensi Boiler Direct</u>	
Method	79
BAB V		86
<u>KESIMPULAN DAN SARAN</u>		86
5.1	<u>Kesimpulan</u>	86
5.2	<u>Saran</u>	87
<u>DAFTAR PUSTAKA</u>		89
<u>LAMPIRAN A</u>		91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema (a) dan T-s Diagram Siklus Rankine (b)	8
Gambar 2. 2 Siklus rankine regeneratif	9
Gambar 2. 3 Siklus Rankine Regeneratif dengan Open Feedwater Heater	10
Gambar 2. 4 Siklus Rankine PLTU 3 Bangka Belitung	14
Gambar 2. 5 Siklus Rankine Regeneratif dengan Closed Feedwater Heater	14
Gambar 2. 6 Sistem CFB Boiler	17
Gambar 2. 7 Diagram alir boiler (direct method)	20
Gambar 2. 8 Diagram alir boiler (indirect method)	21
Gambar 2. 9 Turbin uap unit 2 PLTU 3 Bangka Belitung	27
Gambar 2. 10 Grafik Efisiensi Boiler Unit 1 dan Unit 2	28
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian	35
Gambar 3. 2 Flowchart Pemodelan dan Simulasi PLTU 3 Bangka Belitung	37
Gambar 3. 3 Flowchart Perhitungan	39
Gambar 3. 4 Siklus Rankine PLTU 3 Bangka Belitung	40
Gambar 4.1 Komponen pendukung sistem pembangkit PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung Unit 2 pada Gatecycle	51
Gambar 4.2 Hasil membangun PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung Unit 2 pada Gatecycle	53
Gambar 4.3 Tampilan Simulasi Pada Gate Cycle Beban 30 MW (100%)	53
Gambar 4.4 Simulasi PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung beban 100% 30MW	55
Gambar 4.5 Simulasi PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung beban 22,2 MW	56
Gambar 4.6 Grafik Mass flow rate terhadap bahan bakar	59
Gambar 4.7 Grafik konsumsi bahan bakar terhadap kalori bahan bakar	61
Gambar 4.8 Grafik Net Power Output terhadap Kalori Bahan bakar	62

Gambar 4.9 Grafik Thermal Efficiency terhadap Bahan bakar...	63
Gambar 4.10 Grafik Net Plant Heat Rate terhadap Bahan Bakar	65
Gambar 4.11 Grafik Efisiensi Boiler Indirect Method terhadap bahan bakar.....	79
Gambar 4.12 Grafik efisiensi Boiler direct Method terhadap bahan bakar.....	81
Gambar 4.13 Grafik Audit Ekonomi.....	84

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Rencana Pengembangan Pembangkit di Bangka Belitung sampai tahun 2024.....	3
Tabel 4. 1 Data Kombinasi Heat Balance dan CCR yang diketahui.....	44
Tabel 4. 2 Data Spesifikasi Komponen Utama PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung	47
Tabel 4. 3 Data Spesifikasi Bahan Bakar HHV 3928 Kcal/Kg pada saat operasi (22 MW).....	49
Tabel 4. 4 Data Spesifikasi Bahan Bakar HHV 5145 Kcal/Kg pada saat komisioning (30 MW).....	50
Tabel 4. 5 Data input permodelan PLTU 3 Air Anyer Bangka...	52
Tabel 4. 6 Perbandingan Daya output CCR dan Hasil Simulasi Gate Cycle.....	54
Tabel 4.7 hasil output simulasi gate cycle dan perhitungan.....	58
Tabel 4.8 Data Perhitungan Efisiensi dengan Indirect Method...	66
Tabel 4.9 Data Perhitungan Efisiensi Indirect method 5145Kcal/Kg.....	73
Tabel 4.10 Data Efisiensi Direct method 3928 kcal/kg.....	79
Tabel 4.101Data Efisiensi Direct method 5145 kcal/kg.....	80

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya, hal ini seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi. Namun tingginya kebutuhan energi listrik belum mampu dipenuhi mengingat keterbatasan daya listrik yang ada. Hal ini ditandai dengan pemadaman listrik bergilir yang masih terus terjadi. Salah satu usaha yang dilakukan pemerintah untuk menambah pasokan energi listrik dengan membangun pembangkit listrik baru dan mengoptimalkan pembangkit listrik yang telah ada dengan melakukan konservasi energi.

Boiler merupakan salah satu komponen pembangkit yang digunakan untuk menghasilkan uap panas lanjut uap panas lanjut ini selanjutnya akan di gunakan untuk memutar sudu-sudu turbin yang dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik. *Circulating Fluidized Bed* (CFB) Boiler adalah suatu boiler yang di gunakan pada pembangkit dengan membuat aliran batu bara yang terbakar seolah-olah seperti aliran fluida (*fluidizing*) dan merupakan solusi untuk pembangkit di Indonesia karena beberapa keunggulan yang di miliki oleh PC (*Pulverized Coal*) Boiler seperti fuel flexibility SO dan NO yang hamper tidak ada selama proses pembakaran, senyawa NO ini belum terbentuk karena nitrogen pada udara belum bias teroksidasi pada temperature 800 – 900⁰C, penambahan cyclone membuat proses pencampuran *gas – solid* menjadi lebih baik, fungsi utama untuk mengembalikan batu bara yang tidak terbakar

kedalam *furnace* dan memisahkan batu bara yang tidak terbakar ini dengan *flue gas* yang akan melewati jajaran *Heat Exchanger* (HE) jika *flue gas* dan solid tidak di pisahkan maka akan menyebabkan solid juga terbawa ke jajaran HE sehingga bias menyebabkan pipa – pipa HE mengalami abrasi dan mengalami kebocoran kemudian efek yang lain adalah temperature bed lebih rendah.

Menurut Peraturan Pemerintah No. 70 Tahun 2009 tentang konservasi energi, perlu dilakukan konservasi energi sebagai upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya. Pelaksanaan konservasi energi mencakup seluruh aspek dalam pengelolaan energi yaitu penyediaan energi, pengusahaan energi, pemanfaatan energi dan konservasi sumber daya energi. Efisiensi merupakan salah satu langkah dalam pelaksanaan konservasi energi. Hal yang mendasari perlunya dilakukan efisiensi dalam penggunaan energi adalah cadangan energi fosil yang terbatas, mengurangi kerusakan lingkungan hidup, mengurangi subsidi pemerintah untuk energi fosil dan memberikan keuntungan bagi pengguna energi. Efisiensi sangat perlu diterapkan pada industri pembangkit listrik khususnya pada pembangkit listrik tenaga uap.

Berdasarkan RUPTL (Rencana Upaya Penyediaan Tenaga Listrik) PLN 2015-2024, Bangka Belitung Sebagai provinsi baru maka sangat memerlukan banyak sarana prasarana untuk mendukung aktivitas perekonomian dan program pemerintahan terutama untuk menarik investasi ke Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, Salah satu sarana yang sangat diperlukan adalah ketersediaan energy listrik, sehingga sangat diharapkan adanya

penambahan/pembangunan pembangkit baru yang bertujuan untuk melayani pertumbuhan beban, menggantikan mesin-mesin yang sudah tua, meningkatkan keandalan system ketenagalistrikan dan meningkatkan efisiensi penyaluran tenaga listrik. Tuntutan pembangkit listrik tenaga uap harus mempunyai efisiensi daya yang besar mengakibatkan faktor efisiensi merupakan hal yang sangat penting dan selalu menjadi pembahasan utama. Salah satu hal yang menjadi parameter penting dalam menentukan seberapa besar efisiensi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga uap adalah efisiensi peralatan konversi energy yaitu *boiler* dan turbin. Efisiensi *boiler* dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan kerugian yang terjadi selama proses pembakaran dan efisiensi turbin diperoleh dengan menggunakan analisa termodinamika. Oleh karena itu, penyusun memilih untuk mengkaji dan menganalisis Efisiensi *boiler* dan turbin serta faktor yang menyebabkan efisiensi suatu *boiler* dan turbin mengalami penurunan.

Tabel 1. 1 Rencana Pengembangan Pembangkit di Bangka Belitung sampai tahun 2024

no	Proyek	Jenis	Asumsi Pemngembangan	Kapasitas (MW)	COD
1	Air Anyer (FTP1)	PLTU	PLN	30	2015
2	Bangka Peaker-1	PLTG\MG	Swasta	2x50	2018
3	Bangka -1	PLTU	Unlocated	2x100	2020-2021
4	Bangka-2	PLTU	Unlocated	2x100	2023-2024
5	Belitung 4	PLTU	Unlocated	50	2021
6	Belitung 5	PLTMG	Unlocated	2x15	2023-2024
7	Belitung Baru (FTP 1)	PLTU	PLN	16,5	2015
8	Belitung Peaker	PLTG\MG	Swasta	30	2018
9	MPP Bangka	PLTG\MG	PLN	50	2016
BABEL TOTAL				707	

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai bagaimana mengevaluasi *thermal efficiency*, *net power output* dan *net heat rate* serta hubungan *thermal efficiency*, *net power output*, dan *net heat rate* dengan perubahan bahan bakar yang ada sehingga berdasarkan uraian diatas maka perumusan masalah untuk penelitian ini, diantaranya:

1. Bagaimana melakukan analisa performa PLTU sehingga dapat mengurangi efek hidden capacity pada pembangkit dan menghasilkan kapasitas semula ?
2. Bagaimana pengaruh kualitas batu bara terhadap pembebanan dan efisiensi PLTU ?
3. Bagaimana pengaruh konsumsi bahan bakar terhadap unjuk kerja PLTU (heat rate dan efisiensi) ?

1.3 Batasan Masalah

Mengingat luasnya bidang kerja yang ada serta terbatasnya alokasi waktu yang tersedia, maka akan diambil beberapa batasan masalah dalam penelitian ini. Adapun batasan masalahnya antara lain :

1. Analisa nilai performansi PLTU 3 Bangka Belitung hanya dilakukan pada unit 2 dan komponen utama dari sistem.
2. Perhitungan efisiensi boiler dilakukan berdasarkan standar ASME PTC 4.2.
3. Pengambilan data - data teknis PLTU 3 Bangka Belitung hanya dilakukan pada Central Control Room (CCR) serta plant pada PLTU 3 Air Anyir Bangka Belitung.

4. Evaluasi beban dilakukan pada saat keadaan 100%.
5. Efek energi kinetik dan potensial diabaikan.
6. Bahan bakar yang digunakan adalah batu bara dengan hasil uji terlampir
7. Pada permodelan komponen Gland Steam diabaikan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang di dapatkan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui performa PLTU pada saat ini sehingga mendapatkan langkah untuk menghilangkan hidden capacity.
2. Meningkatkan performa dari sistem pembangkit terutama pada boiler dengan membandingkan efisiensi dari design dan actual dengan kualitas bahan bakar yang berbeda.
3. Mengetahui pengaruh pembebanan dan efisiensi dari sistem pembangkit dengan menggunakan pemodelan sistem pembangkit di *gate cycle*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui sebab dan akibat dari hidden capacity pada pembangkit dengan memperhitungkan losses yang ada pada boiler dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) unit 3 Bangka, sehingga nantinya akan di jadikan data pendukung dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) unit 3 Bangka.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

Tinjauan Pustaka

2.1 *Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)*

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengkonversi energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. PLTU menggunakan fluida kerja yang bersirkulasi secara berulang-ulang. Siklus kerja PLTU yaitu air diisikan ke boiler hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Di dalam boiler, air dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.

Uap hasil produksi boiler diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan energi mekanik berupa putaran. Generator yang dikopel dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan. Uap yang keluar dari turbin dikondensasikan di dalam kondensor kemudian hasil kondensasi uap digunakan lagi sebagai air pengisi boiler.

Gas buang hasil pembakaran bahan bakar digunakan kembali untuk memanaskan udara sebelum dibuang ke atmosfer melalui *stack*. Pemanfaatan gas buang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi suatu pembangkit. Salah satu hal yang menjadi parameter penting dalam menentukan seberapa besar efisiensi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga uap adalah efisiensi peralatan konversi energy yaitu *boiler* dan turbin. Efisiensi *boiler* dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan kerugian yang terjadi selama proses pembakaran dan efisiensi turbin diperoleh dengan menggunakan analisa termodinamika. Oleh karena itu, penyusun memilih untuk mengkaji dan menganalisis

Efisiensi *boiler* dan turbin serta faktor yang menyebabkan efisiensi suatu *boiler* dan turbin mengalami penurunan.

2.1.1 Hidden Capacity

Hidden capacity adalah turunnya daya mampu suatu pembangkit akibat kondisi operasi yang tidak normal, yang bila bebannya dinaikkan akan berakibat tripnya pembangkit tersebut. Bila turunnya daya mampu akibat alam, disebut Variasi Musim. Disini bila kita memakai bahasa terang, penyebab hidden capacity adalah salah urus Pembangkit, baik dari sisi engineering ataupun financing. Alasan yang biasa kita dengar: ‘ mesin tua’ adalah alasan yang tidak profesional. Mesin (fisiknya, bukan teknologinya) tidak pernah tua ! Bila mesin yang umurnya 25 tahun isi perutnya diganti baru semua, kinerjanya akan seperti mesin baru.

Bila kita membangun suatu Pembangkit, seharusnya kita konsekuen dengan biaya yang seharusnya tersedia untuk memelihara sepanjang hidup yang kita rancang. Bukan seadanya dana saat itu yang tersedia, pokoknya sekian, cukup gak cukup ya dicukup-cukupkan. seperti yang selama ini kita anut. Penganggaran yang kita anut selama ini ikut menyumbang adanya hidden capacity.

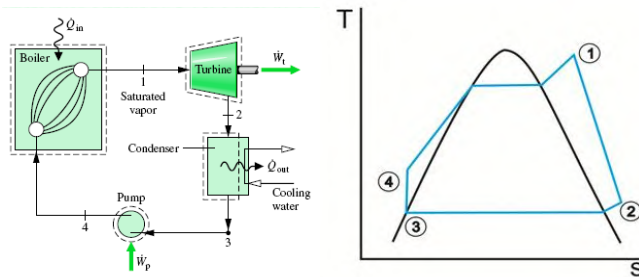
Untuk menormalkan pembangkit yang mengalami hidden capacity berat, sebaiknya PLN Pusat mengembangkan Replacement Policy, yang akan menjustifikasi secara financial, apakah pembangkit tersebut di rehabilitasi, atau diganti pembangkit baru yang lebih efisien.

Pada neraca daya suatu system kelistrikan, hidden capacity bukan satu-satunya penyebab turunnya daya mampu system. Masih banyak hal lain yang perlu mendapat perhatian secukupnya (sampai cukup, bukan dicukup-cukupkan).

Yang terakhir tapi tak kalah penting adalah membangun saling percaya antara pengelola Anggaran dan pengelola Pembangunan dalam menyusun anggaran Pembangunan, sehingga bisa tersedia anggaran yang cukup dengan efektifitas tinggi. Saling percaya ini tidak akan tercapai tanpa kejujuran nurani semua pihak.

2.2 Siklus Rankine

Siklus *Rankine* merupakan suatu siklus termodinamika yang biasa digunakan untuk memodelkan sub sistem terpenting dari suatu pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).



Gambar 2. 1 Skema (a) dan T-s Diagram Siklus Rankine (b)

Siklus *Rankine* adalah siklus termodinamika yang mengubah energi panas menjadi energi mekanik dalam turbin uap yang ditransmisikan poros yang menggerakkan generator listrik. Dalam siklus *Rankine* terdapat 4 proses, dimana setiap proses mengubah keadaan fluida (tekanan dan atau wujud) sebagai berikut :

➤ Proses 1 – 2 :

Terjadinya proses ekspansi dari fluida kerja melalui turbin dari uap *superheat* pada kondisi 1 hingga mencapai tekanan kondensor

➤ Proses 2 – 3 :

Perpindahan kalor dari fluida kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui kondensor menjadi cairan jenuh pada kondisi 3

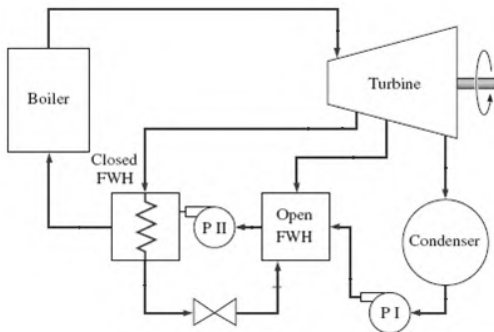
➤ Proses 3 – 4 :

Terjadinya proses kompresi dalam pompa menuju kondisi 4 dalam daerah cairan hasil kompresi

➤ Proses 4 – 1 :

Perpindahan kalor ke fluida kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui *boiler*, untuk menyelesaikan siklus.

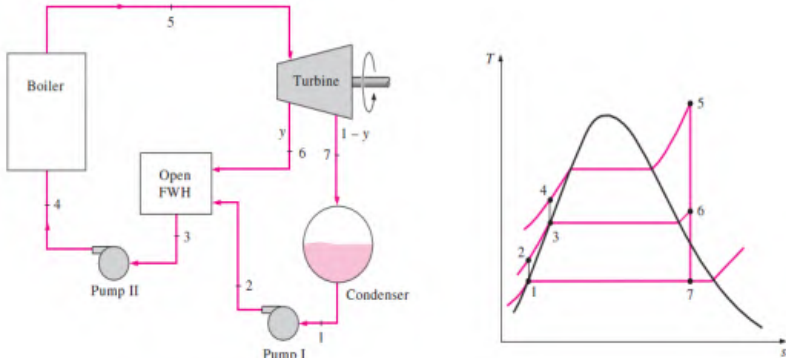
Pada PLTU 3 Bangka Belitung (2 X 30 MW) menggunakan siklus *rankine* regeneratif. Siklus *rankine* regeneratif adalah modifikasi siklus *rankine* ideal dimana air sebagai fluida kerja dinaikkan temperaturnya dengan memanfaatkan uap ekstraksi dari turbin. Proses regenerasi umumnya dengan menggunakan alat yang biasanya disebut *feed water heater* dengan prinsip kerja seperti *heat exchanger*.



Gambar 2. 2 Siklus rankine regeneratif

Feed water heater ada 2 jenis yaitu tipe terbuka dan tertutup. *Open feed water heater* atau bisa disebut juga pemanas kontak langsung secara prinsip adalah sebuah

ruangan pencampur antara uap ekstraksi dengan fluida kerja (air).



Gambar 2. 3 Siklus Rankine Regeneratif dengan Open Feedwater Heater

Massa aliran fluida pada setiap komponen menjadi berbeda karena adanya *extraction steam*. Apabila 1 kg uap air masuk ke turbin, dan y kg menjadi *extraction steam*, dan $(1-y)$ kg berlanjut menuju ke boiler, maka kita dapat menghitung kerja *output* dan kalor masuk sebagai berikut:

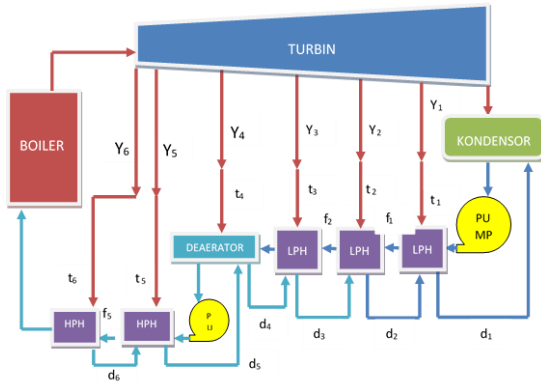
Efisiensi :

$$\eta = \left(\frac{W_{out} - W_{in}}{Q_{in}} \right) \times 100 \dots\dots\dots 2.1$$

$$(\eta = \left(1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \right) \times 100 \dots\dots\dots 2.2$$

Analisa Fraksi Massa

Berdasarkan perhitungan Thermodinamika didapatkan hasil fraksi masa sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Siklus Rankine PLTU 3 Bangka Belitung

- Fraksi massa 6

$$y_6 = \frac{h_g - h_{f5}}{h_{t6} - h_{d6}} \dots\dots\dots 2.3$$

- Fraksi massa 5

$$y_5 = \frac{(h_{f5} - h_7) - y_6 \times (h_{d6} - h_{d5})}{h_{t5} - h_{d5}} \dots\dots\dots 2.4$$

- Fraksi massa 4

$$y_4 = \frac{(h_6 - h_5) - (y_6 + y_5) \times (h_{d5} - h_5)}{h_2 - h_5} \dots\dots\dots 2.5$$

- Fraksi massa 3

$$y_3 = \frac{(h_5 - h_{f3}) \times (y_6 + y_5)}{h_{t3} - h_{d3}} \dots\dots\dots 2.6$$

- Fraksi massa 2

$$y_2 = \frac{(h_{f2} - h_{f1})(y_6 + y_5) - (y_3) \times (h_{d3} - h_{d2})}{h_2 - h_5} \dots\dots\dots 2.7$$

- Fraksi massa 1

$$y_1 = \frac{(h_{f1} - h_4)(y_6 + y_5) - (y_2 + y_3) \times (h_{d2} - h_{d1})}{h_{t1} - h_{d1}} \dots 2.8$$

Analisa Balance Energi

- Q_{in} Boiler

$$Q_{in} = (h_1 - h_8) \dots \dots \dots 2.9$$

- Q_{out} Condensor

$$Q_{out} = (h_2 - h_3) - (y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6) \times (h_2 - h_{d3}) \dots \dots \dots 2.10$$

Analisa Efisiensi Termal

$$\eta = \left(1 - \left(\frac{Q_{out}}{Q_{in}}\right)\right)$$

Dari gambar langkah awal yang penting dalam menganalisis siklus uap regeneratif adalah evaluasi terhadap laju aliran massa yang melalui setiap komponen. Dengan menggunakan satu volume atur yang melingkupi kedua tingkat turbin, kesetimbangan laju massa pada kondisi tunak adalah

$$\dot{m}_2 + \dot{m}_3 = \dot{m}_1 \quad 2.12$$

Dengan :

\dot{m}_1 = laju massa yang masuk ke dalam turbin tingkat pertama pada kondisi 1

\dot{m}_2 = laju massa yang diekstrak dan keluar pada kondisi 2

\dot{m}_3 = laju massa yang keluar dari turbin tingkat kedua pada kondisi 3.

Jika dibagi dengan \dot{m}_1 , maka akan diperoleh nilai berdasarkan unit massa yang melewati turbin tingkat pertama

$$\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_1} + \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} = 1 \quad 2.13$$

Jika fraksi dari aliran total yang diekstraksi pada kondisi 2 diwakili oleh variabel y ($y = \dot{m}_2/\dot{m}_1$), fraksi dari aliran total yang melewati turbin tingkat kedua adalah

$$\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} = 1 - y \quad 2.14$$

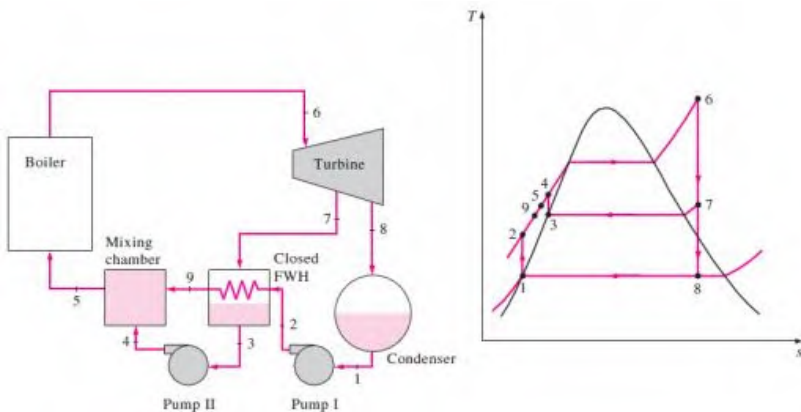
Fraksi y dapat dihitung dengan menerapkan prinsip konservasi massa dan konservasi energi pada volume atur di sekeliling *open feedwater heater*. Jika tidak terjadi perpindahan kalor antara *open feedwater heater* dan lingkungan sekitarnya serta efek energi kinetik dan potensial diabaikan, kesetimbangan laju massa dan energi pada kondisi tunak akan menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$0 = y h_2 + (1 - y)h_5 - h_6 \quad 2.15$$

atau

$$y = \frac{h_6 - h_5}{h_2 - h_5} \quad 2.16$$

Tipe pemanas awal yang lain adalah Close Feedwater Heater atau disebut pemanas sistem tertutup. Prinsip kerjanya adalah panas dari uap ekstraksi dipindahkan ke air pengisi namun tanpa terjadi kontak langsung.



Gambar 2. 4 Siklus Rankine Regeneratif dengan Closed Feedwater Heater

Massa aliran fluida pada setiap komponen menjadi berbeda karena adanya *extraction steam*. Apabila 1 kg uap air masuk ke turbin, dan y kg menjadi *extraction steam*, dan $(1-y)$ kg berlanjut menuju ke boiler, maka kita dapat menghitung kerja output dan kalor masuk sebagai berikut:

Heat Input:

$$Q_{in} = h_4 - h_3 \quad 2.17$$

Heat Output:

$$Q_{out} = (1 - y)(h_1 - h_6) + y(h_8 - h_1) \quad 2.18$$

Work Output:

$$W_{turb,out} = (h_4 - h_5) + (1 - y)(h_5 - h_6) \quad 2.19$$

Work input:

$$W_{pump,in} = (h_2 - h_1) \quad 2.20$$

Efisiensi : 2.21

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}\right) \times 100 \quad 2.22$$

Frakasi dari aliran total yang diekstraksi y dapat dihitung dengan menerapkan prinsip konservasi massa dan

konservasi energi pada volume atur di sekeliling *closed feedwater heater*. Dengan mengasumsikan tidak terjadi perpindahan kalor antara *closed feedwater heater* dan lingkungan sekelilingnya dan mengabaikan efek energi kinetik dan potensial, kesetimbangan laju massa dan energi pada kondisi tunak, konservasi massa dan energi dapat disederhanakan menjadi :

$$0 = y (h_2 - h_7) + (h_5 - h_6) \quad 2.23$$

atau

$$y = \frac{h_6 - h_5}{h_2 - h_7} \quad 2.24$$

2.3 *Komponen Pendukung Siklus Rankine*

2.3.1 **Boiler**

Boiler adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Pada *boiler* terdapat *furnace* yang berfungsi sebagai tempat pembakaran guna menghasilkan panas. Panas ini akan digunakan untuk menguapkan air yang berada di dalam pipa. Panas berasal dari pembakaran udara panas dan bahan bakar. Jenis Boiler yang digunakan pada unit 2 PLTU 3 Bangka Belitung yaitu *circulating fluidized bed boiler* atau CFB Boiler.

2.3.1.1 **Circulating Fluidized Bed Boiler**

Circulating Fluidized bed Boiler atau disingkat CFB Boiler memiliki keunggulan berupa fleksibel terhadap bahan bakar, efisiensi pembakaran yang tinggi dan berkurangnya emisi polutan yang merugikan seperti SO_x dan NO_x. CFB Boiler pada PLTU 3 Bangka Belitung berkapasitas 130.000 kg/jam, kondisi uap air *superheater outlet* 9.81 MPa dengan temperatur berkisar pada level 850-900°C.

Sistem CFB *boiler* terdiri dari sistem air umpan (*feed water system*) untuk menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam, sistem steam (*steam system*) untuk mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler dan sistem bahan bakar (*fuel system*) untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.

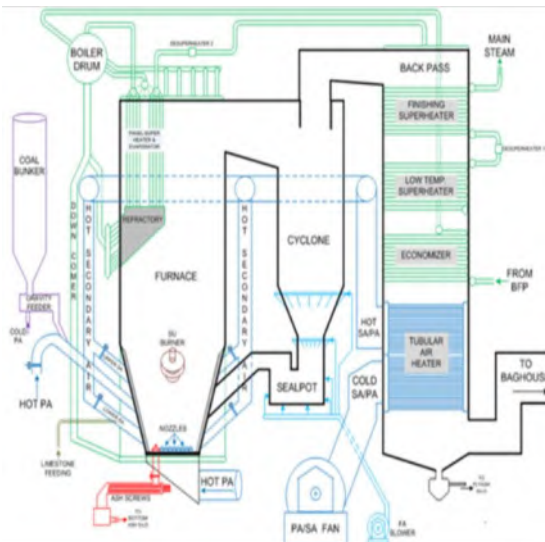
Pengertian *Circulating Fluidized Bed Boiler* :

- *Circulating* : Terjadinya sirkulasi bahan bakar yang belum habis terbakar dari *furnace* ke *cyclone* kemudian masuk ke *seal pot* dan kembali ke *furnace*.
- *Fluidized* : Istilah dimana *material bed* tersembur oleh udara *primary air fan* dengan kecepatan tinggi sehingga seolah-olah mengalir dan *bubbling* selayaknya fluida. Tujuan disirkulasikannya *material bed* yaitu untuk menyerap panas dari hasil pembakaran batubara yang kemudian ditransferkan secara konveksi menuju dinding-dinding *water wall boiler*.
- *Bed* : Material berupa partikel-partikel kecil (pasir kuarsa) yang digunakan sebagai media awal transfer panas dari pembakaran HSD ke pembakaran Batubara.

Pada boiler type *circulating fluidized bed boiler* terdapat 3 bagian utama yaitu:

1. *Furnace* berfungsi sebagai tempat pembakaran bahan bakar dan tempat pemanasan air secara radiasi dan konveksi. Komponen yang terdapat di *Furnace*: *Wall tube*, *Panel Evaporator*, *Panel Superheater*.

2. *Cyclone* merupakan salah satu jenis *dust separator*



Gambar 2. 5 Sistem CFB Boiler

berfungsi untuk memisahkan batubara yang belum terbakar dengan abu (*ash*) sisa pembakaran dan mengembalikannya ke *Furnace*. Komponen utama *Cyclone* antara lain *Cyclone*, *Seal Pot*, *Seal Pot Duct*.

3. *Backpass* berfungsi sebagai ruang pemanfaatan kalor yang terdapat dalam *flue gas*. Komponen utama di *Backpass* antara lain *Finishing Superheater*, *Low Temperature Superheater*, *Economizer*, dan *Tubular Air Heater*.

Sistem CFB boiler adalah sebagai berikut :

1. **Sistem Air Pengisi & Uap Utama**

BFP → Economizer → Boiler Drum → Down Comer → Tube Wall → Boiler Drum → Panel Super heater → Finishing Super Heater → Main Steam

2. Sistem Udara Pembakaran

Primary Air Fan → Cold P.A → Tubular Air Heater → Hot P.A → Fluidizing Air Nozzle (via Plenum) → Furnace
 Secondary Air Fan → Cold S.A → Tubular Air Heater → Hot S.A → S.A Nozzle Upper & lower → Furnace

3. Sistem Fluidizing Air

Fluidizing Air Blower → Sealpot

4. Sistem Bahan Bakar

Batubara → Coal Bunker → Gravimetric Coal Feeder → Furnace

5. System Pembakaran / Gas Buang / Ash

Flue Gas : Furnace → Cyclone → Backpass → Baghouse → ID Fan → Stack

Bottom Ash : Furnace → Cyclone → Sealpot → Furnace → Ash Screw → Bottom Ash Silo

Fly Ash : Furnace → Cyclone → Backpass → Baghouse → Ash Veyor (AV) → Fly Ash Silo

6. Sistem Limestone

Limestone Silo → Furnace

a. Konsep Pembakaran CFB *boiler*

Konsep pembakaran dari CFB *boiler* ini adalah:

- a. Batubara dan *lime stone* dimasukkan ke dalam *Furnace*, serta *fluidizing air* / *primary air* dari *air plenum* melalui *nozzle grate*. Lime stone berfungsi sebagai media untuk *fluidized bed* karena sifatnya yang lunak sehingga pipa pemanas (*heat exchanger tube*) yang terpasang di dalam *boiler* tidak mudah aus dan untuk mengikat sulfur. Berikut reaksi kimia limestone dengan sulfur





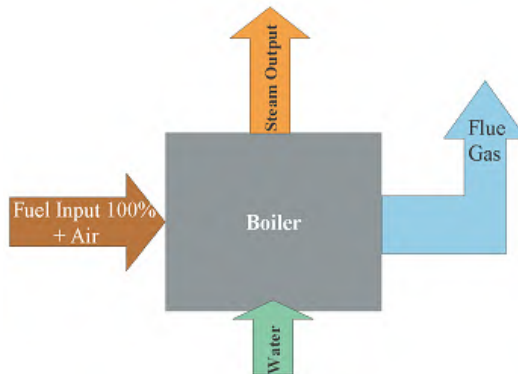
- b. Aliran turbulen menyebabkan batubara cepat bercampur dengan *limestone* secara merata pada *bed* material. *Fluidizing air* dan *bed* temperatur menyebabkan material terbakar dan sirkulasi.
- c. Material yang telah terbakar akan naik ke bagian atas *furnace* karena massanya berkurang kemudian masuk ke *cyclone* melalui *transition piece*, sehingga *flue gas* dan *fly ash* terpisah dari material.

Material solid berputar menuju *cyclone outlet cone* dengan bantuan udara dari *fluidizing air blower* menuju *seal pot* dan diinjeksikan kembali ke *furnace* melalui *seal pot return duct*.

2.3.1.2 Efisiensi *Boiler*

Efisiensi *boiler* akan mengalami penurunan seiring dengan berjalannya waktu. Hal ini terjadi karena berbagai macam faktor, misalnya pembakaran yang buruk, perpindahan panas yang kurang baik, serta faktor pengoperasian dan pemeliharaan yang kurang tepat. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian efisiensi untuk menganalisa seberapa besar penyimpangan efisiensi *boiler* dari efisiensi terbaiknya. Terdapat dua metode pengkajian efisiensi *boiler* :

- Metode Langsung : Energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar.



Gambar 2. 6 Diagram alir boiler (direct method)

$$efisiensi\ boiler\ (\eta) = \frac{Heat\ addition\ to\ steam}{Gross\ Heat\ in\ fuel} \times 100\%$$

2.26

$$Efisiensi\ boiler\ (\eta) = \frac{Steam\ flow\ rate \times (steam\ enthalpy - feed\ water\ enthalpy)}{Fuel\ firing\ rate \times Gross\ calorific\ Value} \times 100\%$$

Efisiensi boiler direct dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Boiler\ efficiency(\%) = \frac{heat\ output}{heat\ input} \times 100\%$$

2.27

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{sh} + \dot{Q}_{rh}}{\dot{m}_{bb} \times HHV}$$

2.28

dimana :

- \dot{m}_{st} = laju massa steam yang dihasilkan (kg/jam)
- h_{sh} = entalpi steam superheated (kKal/kg)
- h_{fd} = entalpi feedwater (kKal/kg)
- \dot{m}_{ssw} = laju massa superheated spray water (kg/hr)

h_{ssw} = entalpi *superheated spray water* (kKal/kg)

•

m_{rsw} = laju massa *reheated spray water* (kg/hr)

h_{rsw} = entalpi *reheated spray water* (kKal/kg)

h_{rh2} = entalpi *reheated out* (kKal/kg)

h_{rh1} = entalpi *reheated in* (kKal/kg)

•

m_{bb} = laju massa konsumsi bahan bakar (kg/jam)

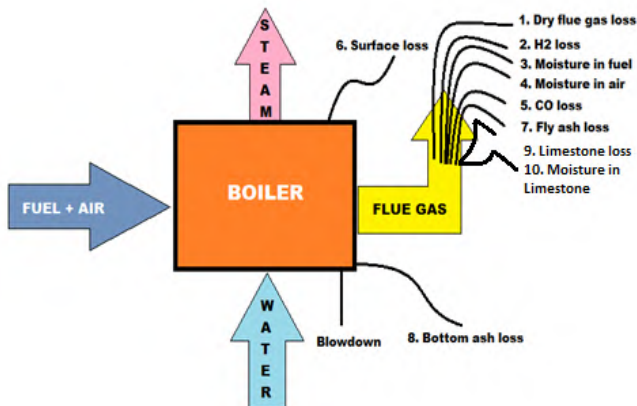
HHV = nilai kalor atas bahan bakar (kcal/kg)

Keuntungan metode langsung

- Efisiensi *boiler* dapat dihitung dengan cepat dikarenakan Parameter perhitungan yang sedikit

Kerugian Metode langsung

- Tidak dapat menghitung berbagai macam *losses* yang terjadi pada boiler.
- Metode Tidak Langsung : Efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan dan energi yang masuk



Gambar 2. 7 Diagram alir boiler (indirect method)

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = 100 - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8 + L9 + L10 + L11)$$

Dengan Keterangan sebagai berikut :

1. Heat loss karena *dry flue gas* (L1)

Kerugian karena gas buang kering (*Heat Loss Due to Dry gas*) (L1) = { *Dry gas* x *Specific heat of flue gas* x (*Flue gas temperature* – *Reference air temperature*) }

$$L_1 = \frac{m_{fg} \times Cp \times (T_f - T_a)}{HHV} \times 100$$

2.29

dimana :

- L_1 = % kerugian panas akibat gas buang kering
- m_{fg} = Massa gas buang kering (kg/kg bahan bakar) didapat dari persamaan
- Cp = Kalor spesifik gas buang (kKal/kg°C), lampiran 1
- T_f = Temperatur gas buang (°C)
- T_a = Temperatur *ambient* (°C)
- HHV = LHV + *moisture in fuel*
= High Heating Value (kKal/ kg)

2. Heat loss karena pembentukan air dari H_2 (L2)

Kerugian karena adanya H_2 dalam bahan bakar (*Heat Loss Due to Moisture from Burning Hydrogen*) (L2) = *Moisture in Fuel* (M_{f2}) x { 595 + (0,46 x *Flue gas temperature*) - *Reference air temperature* }

$$L_2 = \frac{9 \times H_2 \times \{584 + Cp(T_f - T_a)\}}{HHV} \times 100$$

2.30

dimana :

L_2 = % kerugian panas akibat penguapan air karena terbentuknya H_2

H_2 = % hydrogen dalam 1kg bahan bakar

C_p = Kalor spesifik uap *saturated* (kKal/kg°C), lampiran 2

T_f = Temperatur gas buang (°C)

T_a = Temperatur *ambient* (°C)

584 = Panas laten sesuai dengan tekanan parsial uap air

HHV = LHV + *moisture in fuel*

= High Heating Value (kKal/ kg)

3. Heat loss karena *moisture* di batubara (L_3)

Kerugian karena adanya kandungan air dalam bahan bakar (*Heat Loss Due to Moisture in Fuel*)
(L_3) = *Moisture in Fuel* (M_f) x { 595 + (0,46 x *Flue gas temperature*) - *Reference air temperature* }

$$L_3 = \frac{M \times \{584 + Cp(T_f - T_a)\}}{HHV} \times 100$$

2.31

dimana :

L_3 = % kerugian panas akibat kelembaban/ kandungan H_2O

M = persen kadar air dalam 1 kg bahan bakar

C_p = Kalor spesifik uap *saturated* (kKal/kg°C), lampiran 2

T_f = Temperatur gas buang (°C)

T_a = Temperatur *ambient* (°C)

584 = Panas laten sesuai dengan tekanan parsial uap air

HHV = LHV + *moisture in fuel*

LHV = High Heating Value (kKal/ kg)

4. Heat loss karena *moisture* di udara (L4)

Kerugian karena adanya kadar air dalam udara pembakaran (*Heat Loss Due to Moisture in the Combustion Air*) (L4) = 0,46 x *Moisture in air* (Ma) x { *Flue gas temperature* - *Reference air temperature* }

$$L_4 = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times C_p \times (T_f - T_a)}{HHV} \times 100$$

2.32

dimana :

L_4	= % kerugian panas akibat kelembaban/kandungan H ₂ O di udara
AAS	= massa udara sebenarnya yang terkandung dalam bahan bakar
C_p	= Kalor spesifik uap <i>saturated</i> (kKal/kg°C), Lampiran 2
T_f	= Temperatur gas buang (°C)
T_a	= Temperatur <i>ambient</i> (°C)
<i>Humidity factor</i>	= kg air/kg uap air
HHV	= LHV + <i>moisture in fuel</i> = High Heating Value (kKal/ kg)

5. Heat loss karena pembakaran yang tidak sempurna (L5)

Kerugian karena pembakaran yang tidak sempurna (*Heat Loss Due to Formation Carbon Monoxide*) (L5) = { (Carbon monoxide / (Carbon

dioxide + Carbon monoxide)) x 5644 x (Carbon / 100) }

$$L_5 = \frac{\%CO \times C}{\%CO + \%CO_2} \times \frac{5744}{HHV} \times 100 \quad 2.33$$

Dimana :

L_5 = % kerugian panas akibat sebagian konversi dari C ke CO

CO = Volume CO dalam gas buang yang meninggalkan economizer

C = kg kandungan karbon /kg bahan bakar

CO₂ = Volume aktual C pada gas buang O₂

HHV = LHV + *moisture in fuel*

= High Heating Value (kKal/ kg)

6. Heat loss karena radiasi dan konveksi (L6)

Kerugian karena perpindahan panas yang tidak sempurna (*Surface Loss*) (L6) = $0.548 \times [(T_s / 55.55)^4 - (T_a / 55.55)^4] + 1.957 \times (T_s - T_a) 1.25 \times [(196.85 V_m + 68.9) / 68.9]^{0.5}$ 2.34

7. Heat loss karena *Bottom ash* (L7)

Kerugian karena tidak terbakarnya *fly ash* (L7)

$$L_7 = \frac{\frac{\text{Total ash collected}}{\text{kg of fuel burnt}}}{GCV \text{ of fuel}} \times GCV \text{ of fly ash} \times 100 \quad 2.35$$

8. Heat loss karena dan *fly ash* (L8)

Kerugian karena tidak terbakarnya *bottom ash* (L8)

$$L_8 = \frac{\frac{\text{Total ash collected}}{\text{kg of fuel burnt}}}{\text{GCV of fuel}} \times \text{GCV of bottom ash} \times 100$$

2.36

9. Kerugian energi karena terbakarnya limestone (L9)

Kerugian karena terbakarnya *limestone* (L9)

$$L_9 = \frac{\text{Feed rate } \text{CaCO}_3 \times 1830}{\text{fuel feed rate} \times \text{GCV}}$$

2.37

10. Kerugian energi karena kandungan air dalam limestone (L10)

Kerugian karena adanya kadar air dalam *limestone* (L10)

$$L_{10} = \frac{\text{Feed rate } \text{CaCO}_3 \times \text{Moisture in Fuel} \times (h_2 - h_1) \times 100}{\text{GCV of fuel}}$$

2.38

2.3.2 Turbin Uap

Turbin uap berfungsi memanfaatkan energi panas yang terkandung dalam uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Fluida kerja pada turbin ini adalah uap kering dari boiler. Uap yang masuk ke dalam turbin uap digunakan untuk memutar sudu turbin tergantung dari besar daya yang akan dihasilkan. Jika diinginkan daya yang dihasilkan besar maka akan dibutuhkan suplai uap dalam jumlah banyak, begitu juga sebaliknya jika daya yang dihasilkan kecil maka suplai uap juga sedikit. Pengaturan suplai uap ini dilakukan oleh *control valve* yang diatur

melalui *central control room* (CCR). Spesifikasi umum turbin yang digunakan pada PLTU 3 Bangka Belitung adalah *air cooled, impulsive, condensing steam turbine* merk *Wuhan Steam Turbine Manufacture*. Dengan kapasitas 30 MW pada putaran 3000 rpm, tekanan uap 8.83 MPa, dan temperature uap yang masuk 535 °C.



Gambar 2. 8 Turbin uap unit 2 PLTU 3 Bangka Belitung

Untuk menganalisa performansi turbin dapat dilakukan dengan menghitung efisiensi isentropis dengan rumus sebagai berikut

2.4 Penelitian Terdahulu

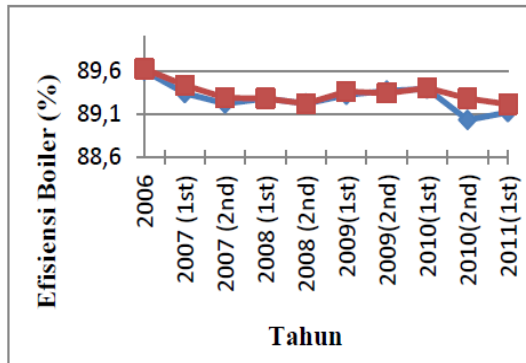
2.4.1 Aan Zainal M (2011)

Dalam tugas akhirnya yang berjudul “Audit Energi Pada Boiler. Studi Kasus Akibat Perubahan Bahan Bakar Jenis High Rank Coal ke Low Rank Coal Pada Salah Satu Pembangkit Listrik di Jawa Timur Dengan Kapasitas Terpasang 2x400MW”. Melakukan Penelitian untuk melakukan audit energy dan menghitung peluang penghematan yang terjadi akibat pergantian jenis bahan bakar. Selain itu penelitian ini juga untuk mencari apakah terjadi kerugian-kerugian

yang terjadi akibat pergantian bahan bakar, baik dari segi efisiensi maupun biaya.

2.4.2 M Denny Surindra (2013)

Dalam penelitian yang berjudul “*ANALISIS PERUBAHAN EFISIENSI BOILER PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP TANJUNG JATI B UNIT 1*



Gambar 2. 1 Grafik Efisiensi Boiler Unit 1 dan Unit 2

DAN 2, 2X660 MEGAWATT” yang berada di PLTU Tanjung Jati B unit 1 dan 2 menggunakan boiler Babcock & Wilcox Carolina Radiant Boilers. yang menyerap panas pada saturated zone dengan proses perpindahan panas radiasi. Boiler ini beroperasi dengan bahan bakar batu bara dengan produksi listrik netto 2x660 Megawatt.

Pada unit 1 mencapai nilai efisiensi boiler yang tertinggi pada tahun 2006 yaitu sebesar 89,60% dan pada unit 2 mencapai nilai efisiensi boiler yang tertinggi pada tahun 2006 yaitu sebesar 89,62%. Efisiensi tertinggi yang terjadi pada tahun 2006 dimana pada tahun tersebut PLTU Tanjung Jati B unit

1-2 beroperasi komersial pertama kali dengan ditandai COD (*Commercial Operation Date*), dengan demikian nilai efisiensi boiler mencapai hampir 90% adalah wajar dan sesuai harapan karena kondisinya masih baru, semua peralatan dapat sinkron beroperasi menghasilkan listrik. Gambaran yang dapat menunjukkan prestasi kerja boiler ialah efisiensi η yang didefinisikan sebagai angka perbandingan antara energi yang dipindahkan ke atau diserap oleh fluida kerja di dalam boiler dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Efisiensi boiler dihitung dengan metoda tak langsung yaitu dengan mencari total kerugian panas pada boiler dan semuanya dihitung dalam bentuk kerugian energy per satuan massa bahan bakar (kJ/kg) atau Btu/lbm). Efisiensi boiler PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 tertinggi sebesar 89,60% pada unit 1 dan pada unit 2 89,62%, dimana keduanya pada saat COD. Efisiensi boiler yang terendah untuk unit 1 sebesar 89,03% pada tahun 2010 (2nd) dan unit 2 sebesar 89,21% pada tahun 2011(1st)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam melakukan penelitian dan analisis pengaruh variasi tekanan operasi kondensor pada beban yang tetap terhadap *thermal efficiency*, *net power output*, *net heat rate*, analisa efisiensi boiler dari pembangkit unit 2 PLTU 3 Bangka Belitung terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, antara lain :

1. Studi Kasus

Permasalahan mengenai menurunnya efisiensi pembangkit pada unit 2 PLTU 3 Bangka Blitung diperoleh berdasarkan observasi kondisi aktual di lapangan dan diskusi dengan pihak *operator* dan pihak *engineering*. Dalam melakukan penelitian dan analisis pengaruh variasi tekanan operasi kondensor pada beban yang tetap terhadap *thermal efficiency*, *net power output* dan *net heat rate* unit 2 PLTU 3 Bangka Blitung beroperasi pada performa yang tinggi.

2. Studi Literatur

Untuk memperdalam pemahaman mengenai permasalahan yang dibahas, dilakukan studi literature yang berkaitan dengan proses operasi unit 2 PLTU 3 Bangka Belitung dan perhitungan efisiensi dan rugi daya. perhitungan *net thermal efficiency*, *net power output* dan *net heat rate*. Serta analisis menggunakan software *Gate Cycle*. Studi literature diperoleh dari *e-book*, jurnal, dan penelitian terlebih dahulu.

3. Pengumpulan dan Pengolahan data

Sebelum melakukan penelitian, diperlukan adanya data acuan perhitungan sehingga dilakukan

pengumpulan data desain dan aktual. Data desain diperoleh dari heat balance PLTU 3 Bangka Belitung unit 2. Sedangkan data actual diperoleh dari CCR (Central Control Unit) unit 2 PLTU 3 Bangka Belitung. Kemudian kedua data tersebut diolah untuk mendapatkan data yang digunakan untuk perhitungan.

4. Perhitungan *Net Thermal Efficiency*, *Net Power Output* dan *Net Heat Rate*

Dalam penelitian ini, untuk menghitung *net thermal efficiency*, *net power output* dan *net heat rate* menggunakan pendekatan termodinamika, data yang digunakan adalah data heat balance. Perhitungan efisiensi dan rugi daya PLTU menggunakan ilmu termodinamika sedangkan efisiensi peralatan seperti boiler menggunakan ASME PTC 4.1 dan turbin menggunakan ilmu termodinamika .

5. Pemodelan dan Simulasi

Tahapan ini diawali dengan pemodelan PLTU 3 Bangka Belitung dengan menggunakan *software Gate Cycle*. Selanjutnya, adalah memasukkan nilai parameter pada masing-masing komponen PLTU 3 Bangka Belitung sesuai dengan data CCR dan *heat balance*. Setelah success (tidak terdapat kesalahan), dilakukan proses plotting data *net thermal efficiency*, *net power output* dan *net heat rate*. Selanjutnya dilakukan tahap validasi dengan membandingkan nilai yang dihasilkan *software Gate Cycle* dengan nilai pada *heat balance*. Jika relatif sama, maka dilakukan variasi tekanan operasi kondensor.

Selanjutnya dilakukan plotting kembali data *net thermal efficiency*, *net power output* dan *net heat rate*.

6. Analisis dan Pengolahan Data Hasil Simulasi

Setelah proses perhitungan dan simulasi selesai, hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk data visual dan juga grafik untuk dianalisis secara kuantitatif. Dari data tersebut dapat dianalisis dan diolah sehingga didapat hubungan antara variasi tekanan operasi kondensor pada beban yang tetap dengan *net thermal efficiency*, *net power output* dan *net heat rate*.

7. Penyusunan Laporan

Keseluruhan tahapan yang telah dilakukan dan hasil dari penelitian ini kemudian disusun dalam bentuk yang sistematis.

3.2 *Pengolahan Data*

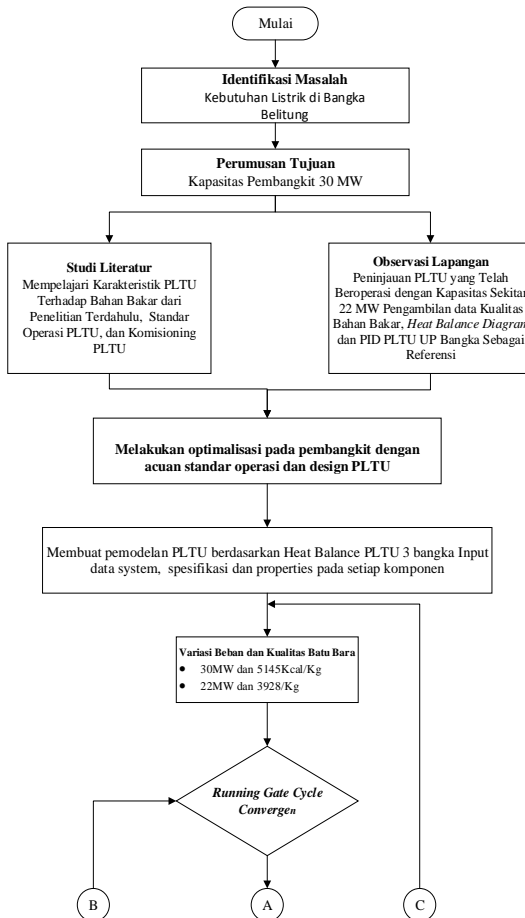
Dalam penelitian ini dibutuhkan data masukan untuk simulasi *software Cycle Tempo*, data acuan untuk tahap validasi dan data desain kondensor PLTGU Cilegon. Tahapan pengolahan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

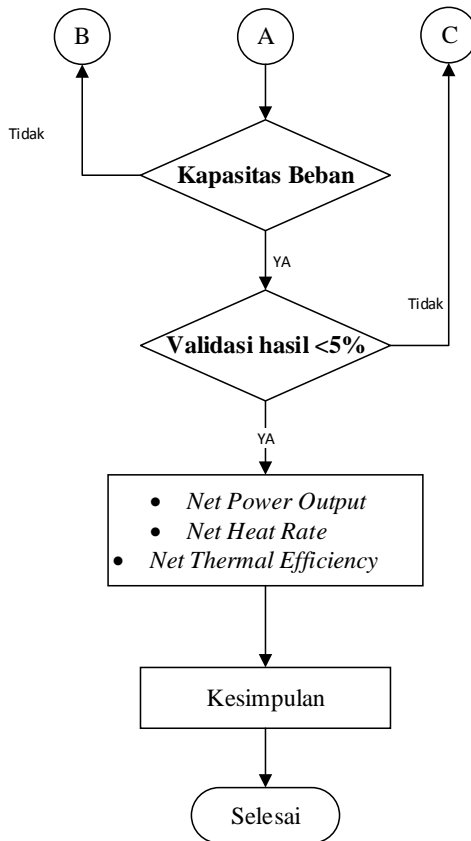
1. Data diperoleh dari CCR ,commissioning , dan *heat balance* PLTU 3 Bangka Belitung. dari data ini dapat diperoleh nilai laju alir massa, entalpi, tekanan dan suhu.

2. Data CCR yang digunakan adalah data yang dikeluarkan pada saat *comissioning* pada beban 100%.
3. Data *heat balance* mempunyai variasi beban yang terbatas, yakni sebesar 100% dari total kapasitas pembangkit.
4. Data spesifikasi kondensor PLTU 3 Bangka Belitung mempunyai nilai *top vacuum* 257.272 mmHg (vakum) atau 50 mmHgA (absolut).
5. Data spesifikasi bahan bakar pada keadaan komisioning adalah 5145 Kcal/kg dan pada saat actual adalah 3928 Kcal/Kg.

3.3 *Flowchart Penelitian*

Kerangka atau alur berpikir digunakan untuk mempermudah proses penelitian. Adapun kerangka berpikir penelitian ini dijelaskan pada *flowchart* penelitian dibawah ini,

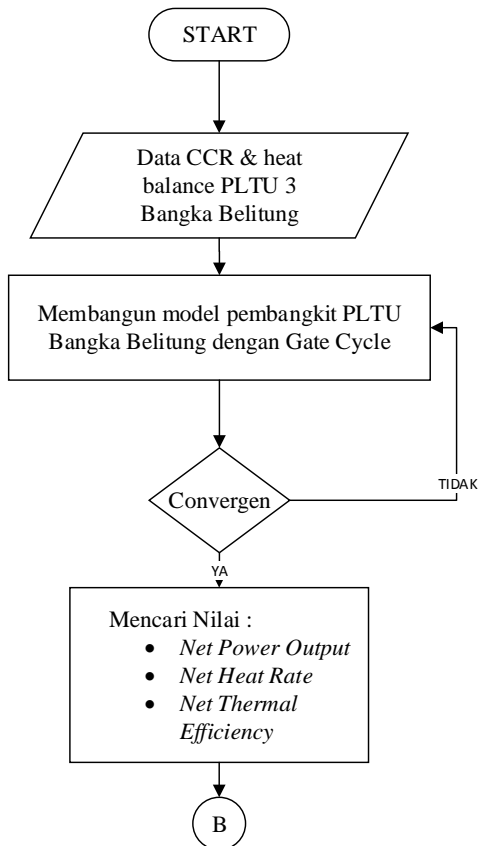


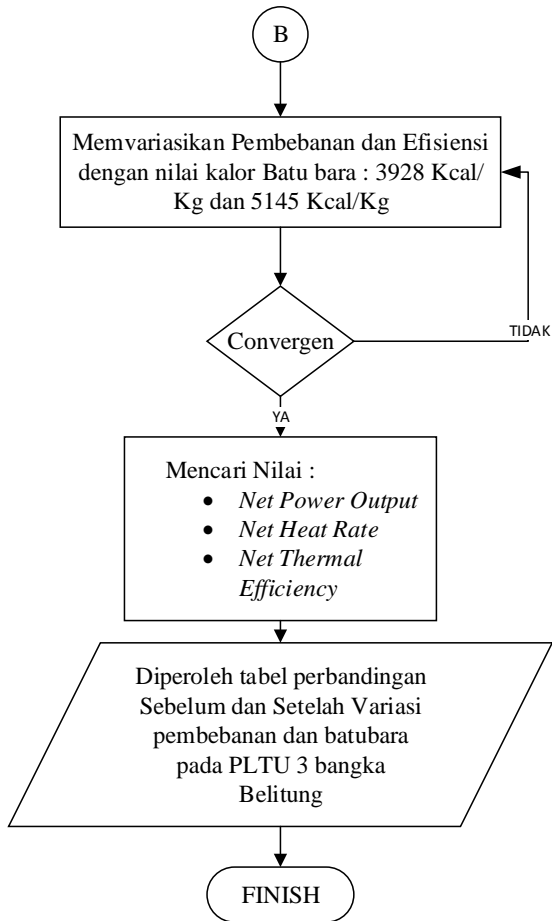


Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

3.4 *Flowchart Pemodelan dengan Software Gate Cycle*

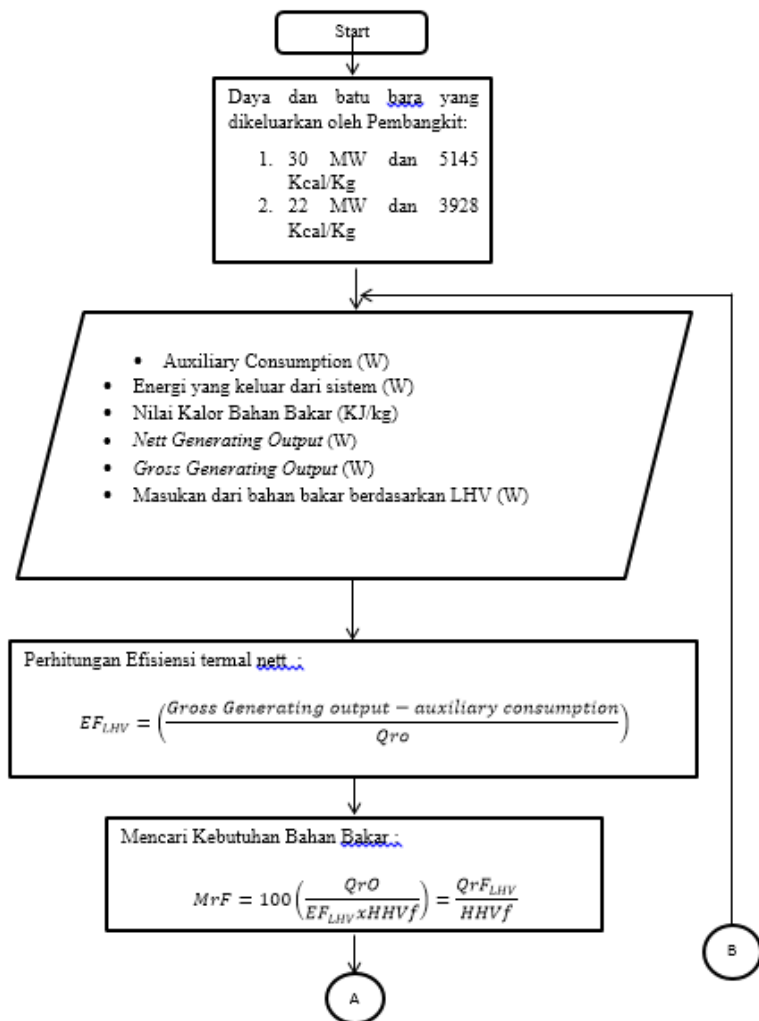
Kerangka atau alur berpikir digunakan untuk mempermudah proses permodelan. Adapun kerangka berpikir penelitian ini dijelaskan pada flowchart permodelan dibawah ini,

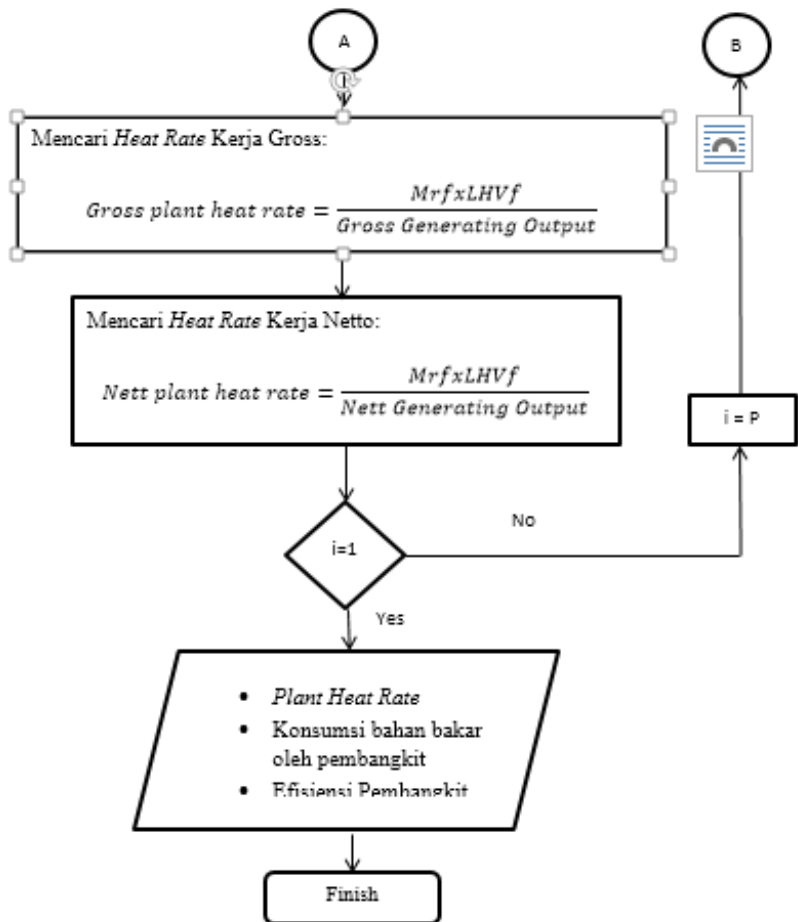




Gambar 3. 2 Flowchart Pemodelan dan Simulasi PLTU 3 Bangka Belitung

3.5 Flowchart Perhitungan





Gambar 3. 3 Flowchart Perhitungan

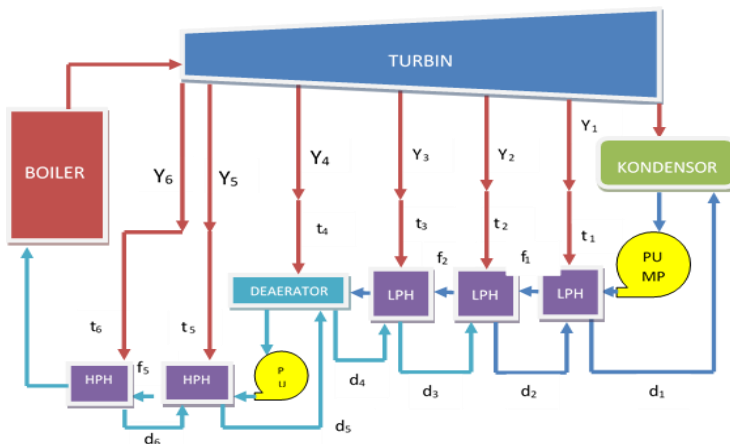
3.6 Metode Perhitungan

3.6.1 Metode Analisa Total PLTU

a. Gambaran Umum

Metode analisa yang digunakan dalam menghitung efisiensi sistem PLTU yaitu menggunakan siklus *rankine* regeneratif. Berikut Skema PLTU 3 Bangka Belitung serta analisa fraksi massa, balans energi dan efisiensi total PLTU.

Heat Balance (Terlampir)



Gambar 3. 4 Siklus Rankine PLTU 3 Bangka Belitung

3.6.2 Metode Analisa Perhitungan Pembangkit

Metode analisa yang digunakan dalam menghitung efisiensi *circulating fluidized bed boiler* sebagai berikut

a. ASME Standard: PTC-4-1 Power Test Code for Steam Generating Units

Standar ASME: PTC-4-1 terdiri dari dua bagian:

- Bagian pertama: Metode Langsung (*Direct method*), atau disebut juga sebagai metode input-output.
- Bagian kedua: Metode tidak langsung (*Indirect method*), atau disebut juga sebagai metode *heat loss*.

b. Analisa Fraksi Massa

Berdasarkan perhitungan Thermodinamika didapatkan hasil fraksi masa sebagai berikut:

- Fraksi massa 6

$$y_6 = \frac{h_8 - h_{f5}}{h_{t6} - h_{d6}} \quad 3.1$$

- Fraksi massa 5

$$y_5 = \frac{(h_{f5} - h_7) - y_6 \times (h_{d6} - h_{d5})}{h_{t5} - h_{d5}} \quad 3.2$$

- Fraksi massa 4

$$y_4 = \frac{(h_6 - h_5) - (y_6 + y_5) \times (h_{d5} - h_5)}{h_2 - h_5} \quad 3.3$$

- Fraksi massa 3

$$y_3 = \frac{(h_5 - h_{f3}) \times (y_6 + y_5)}{h_{t3} - h_{d3}} \quad 3.4$$

- Fraksi massa 2

$$y_2 = \frac{(h_{f2} - h_{f1})(y_6 + y_5) - (y_3) \times (h_{d3} - h_{d2})}{h_2 - h_5} \quad 3.5$$

- Fraksi massa 1

$$y_1 = \frac{(h_{f1} - h_4)(y_6 + y_5) - (y_2 + y_3) \times (h_{d2} - h_{d1})}{h_{t1} - h_{d1}} \quad 3.6$$

Analisa Balance Energi

- $Q_{in} \text{ Boiler}$

$$Q_{in} = (h_1 - h_g) \quad 3.7$$

- $Q_{out} \text{ Condensor}$

$$Q_{out} = (h_2 - h_3) - (y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6) \times (h_2 - h_{d2}) \quad 3.8$$

Analisa Efisiensi Termal

$$\eta = \left(1 - \left(\frac{Q_{out}}{Q_{in}}\right)\right) \quad 3.9$$

$$\eta_{thermal} = \frac{(\dot{W}_{GT} + \dot{W}_{ST}) - \dot{W}_{p(total)}}{\dot{Q}_{in}} \quad 3.10$$

$$\eta_{thermal} = \frac{(\dot{W}_{GT} + \dot{W}_{ST}) - (\dot{W}_{(cond)pump} + \dot{W}_{(HP/IP)BFP} + \dot{W}_{(LP)BFP})}{\dot{m}_{fuel}(LHV)} \quad 3.11$$

Menghitung Net Power Output

$$\dot{W}_{net} = (\dot{W}_{GT} + \dot{W}_{ST}) - (\dot{W}_{(cond)pump} + \dot{W}_{(HP/IP)BFP} + \dot{W}_{(LP)BFP})$$

3.12

Menghitung Net Heat Rate

$$Net \ Heat \ Rate = \frac{\dot{m}_{fuel}(LHV)}{\dot{W}_{net}} \quad 3.13$$

Dimana:

$\dot{W}_{(cond)pump}$: Kerja yang diperlukan oleh Pompa
Kondensat (kW)

$\dot{W}_{(HP/IP)BFP}$: Kerja yang diperlukan oleh HP/IP
Boiler Feed Pump (kW)

$\dot{W}_{(LP)BFP}$: Kerja yang diperlukan oleh LP
Boiler Feed Pump (kW)

BAB IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data yang dibutuhkan dalam simulasi

Dalam pemodelan dan simulasi PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung dengan menggunakan Gate Cycle diperlukan data-data yang mendukung, diantaranya adalah data spesifikasi komponen utama, data heat balance, dan data Central Control Room (CCR).

4.1.1 Data Heat Balance dan CCR

Data heat balance (desain) dan CCR (operasi) diperlukan untuk kelengkapan pada saat proses memasukan data pada pemodelan dan simulasi menggunakan Gate Cycle. Data CCR yang digunakan adalah pada saat commissioning 100% (30 MW) dan pada saat beban (22 MW). Data gabungan heat balance dan CCR ditunjukkan pada tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4. 1 Data Kombinasi Heat Balance dan CCR yang diketahui

BOILER UNIT 2 PLTU 3 AIR ANYIR BANGKA BELITUNG					
CCR(Central Control Rom)	PARAMETER	KEADAAN		SATUAN	Keterangan
		OPERASI	KOMMISIONING		
	Load	22200	30100	KW	± 7900 (-26%)
	Coal Flow	17100	16710	kg/hr	71.17
	mainsteam flow	116100	125197	kg/hr	470

	mainsteam pressure	8	8.3	Mpa	0.3
	Mainsteam temperature	513.2	536.85	C	23.65
	feed water temperature	198.1	217.35	C	19.25
	%CO ₂ in Flue gas	0	11.03	%	11.03
	%CO in Flue gas	0	0	%	0
	%O ₂ in Flue gas	3.1	8.76	%	5.66
	average flue gas temp	155.85	150.97	C	-4.88
	ambient temp	30	30.6	C	0.6
	humidity in ambient air	0.024	0.024	kg/kg dry air	0
	surface temp of boiler	51	51	C	0
	wind velocity around boiler	3.2	3.2	C	0
	GCV of bottom ash	0	0	kCal/kg	0
	GCV of fly ash	0	0	kCal/kg	0
	ratio of bottom ash to fly ash	80:20:00	81:20:00		0.04167

	ash content in fuel	4.32	7.41	%	3.09
	moisture in coal	12.33	13.75	%	1.42
	carbon content	65.34	40.4	%	-24.94
	hydrogen content	4.5	4	%	-0.5
	nitrogen content	1.36	0.68	%	-0.68
	oxygen content	12.15	9.85	%	-2.3
	sulfur content	0.11	0.35	%	0.24
	LHV of coal	16401.3	21541.1	kJ/kg	5139.82
	GCV of coal	3928	5145	kCal/kg	1217
	Q (kalor)	64.52%	55.36%	kJ	-0.0916
	Net Plant Heat Rate	11875.7	11870.6	kJ/Kwh	-5.06
	Qout Kondensor	1720.73	1788.03	kJ/Kg	67.3
	Qin Boiler	2269.48	2554.41	kJ/Kg	284.93
	Efisiensi pembangkit	24.18%	30.00%	%	0.05822

4.1.2 Spesifikasi Komponen Utama Penyusun PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung

Tabel 4. 2 Data Spesifikasi Komponen Utama PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung

Turbin uap	Jumlah unit	Dua
	Tipe	High pressure, single Casing, impulse and condensing turbine(N30- 8.83/535)
	Kapasitas	30 MW
	Aliran uap	140 t/h
	Suhu	535 C
	Tekanan keluar	704 mmHg
	Putaran	3000 rpm
Generator	Jumlah unit	Dua
	Tipe	QF-30-2 turbo-generator
	Kapasitas (output)	37,500 kVA
	Rating	
	Voltase	6.300 Volt
	Faktor Tenaga	85%
	Frekuensi	50 Hz
	Putaran	3000 rpm

Boiler CFD(Circulating Fluidizing Bed)	Jumlah unit	Dua
	Tipe	High temperature, high pressure single drum, natural circulation. HT insulated vortex cyclone separator, CFB combustion.
	Bahan bakar	Batu Bara 3928 Kcal dan 5124 Kcal
	Kapasitas	30 MW (heat balance)
	Aliran Uap (outlet)	140 t/h
	Tekanan Uap (outlet)	9.81 kg/cm ²
	Suhu uap (outlet)	540°C
Coal Feeder	Jumlah unit	2
	Tipe	WSAT77-Y3-4p-63.41
	Material	Batu Bara
	Kapasitas	0-12,5 t/h
	Driving power	3 KW
	Belt Speed	0,311 m/s

4.1.3 Spesifikasi Bahan Bakar PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung

Data spesifikasi bahan bakar yang dibutuhkan untuk bahan pertimbangan dalam analisis variasi bahan bakar terhadap net power output, net heat rate dan thermal efficiency.

Tabel 4. 3 Data Spesifikasi Bahan Bakar HHV 3928 Kcal/Kg pada saat operasi (22 MW)

Parameter		Unit	Result				Methods
Total Moisture		%	AR	ADB	DB	DAFB	ASTM D 3302-12
Proximate	Moisture in the Analysis Sample	%	-	12,33	-	-	ASTM D 3173-11
	Ash Content	%	3,03	4,32	4,93	-	ASTM D 3174-12
	Volatile Matter	%	32,56	46,48	53,02	55,76	ASTM D 3175-11
	Fixed Carbon	%	25,83	36,87	42,06	44,24	By Different
Total Sulphur		%	0,11	0,15	0,17	0,18	ASTM D 4239-08
Gross Calorific Value		Kcal/Kg	3928	5607	6396	6727	ASTM D 5865-13
Ultimate	Total Carbon	%	-	59,70	68,09	-	ASTM D 5373-14
	Total Hydrogen	%	3,63	5,18	5,91	-	ASTM D 3179-02 ⁻¹
	Nitrogen	%	-	0,77	0,88	0,92	ASTM D 3179-02 ⁻¹
	Oxygen	%	-	17,56	-	-	By Different
Hardgrove Grindability Index		Index Point	46				ASTM D 409-12
Size Test		Size Fraction	- 70 mm	- 50 mm	- 32 mm	- 2.38 mm	ASTM D 4749-12
Slagging Index		%	100,0	97,4	70,2	16,1	
Fouling Index			0,08 (LOW)				
			0,19 (LOW)				
Ash Fusion Temperature (Reduction)	Initial Deformation temp.	°C	1150				ASTM D 1857-10
	Spherical Temp.	°C	1170				
	Hemispherical Temp.	°C	1190				
	Fluidized Temp./Fluid	°C	1220				
Ash Analysis Parameter	Unit	Result	Ash Analysis Parameter	Unit	Result	Methods	
SiO ₂	%	46,67	K ₂ O	%	0,61	Ignited at 800°C ASTM D 3682-13	
Al ₂ O ₃	%	11,49	TiO ₂	%	2,17		
Fe ₂ O ₃	%	18,90	SO ₃	%	9,61		
CaO	%	5,98	MnO ₂	%	0,44		
MgO	%	1,90	P ₂ O ₅	%	0,23		
Na ₂ O	%	0,41					

Date of issued : January 30th, 2015

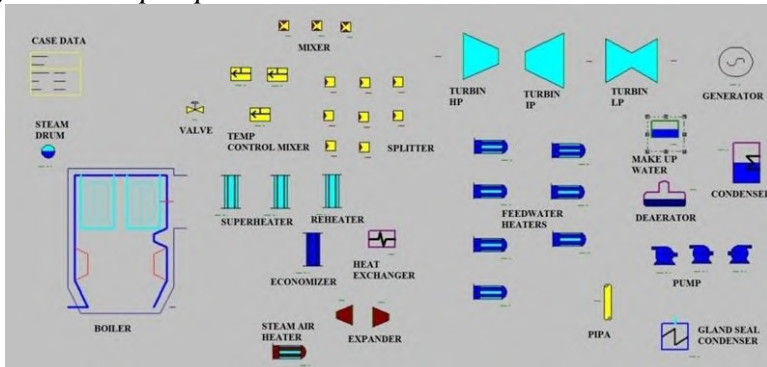
Tabel 4. 4 Data Spesifikasi Bahan Bakar HHV 5145 Kcal/Kg pada saat komisioning (30 MW)

No	Description		Unit	Dest.	Present Value
1	Correction of Fuel				
1	Total Moisture		%	TM	37.30
2	Proximate	Moisture	%	IM	13.75
3		Ash Content	%	A _{ar}	10.20
4		Volatile Matter	%	V _{daf}	40.05
5		Fixed Carbon	%	C	36.00
6	Total Sulfur (S _{ar})		%	S _{ar}	0.48
7	Gross Calorific Value (HHV)		Kcal/kg	HHV	5,145
8	Ultimate	Total Carbon	%	C _{ar}	55.58
9		Total Hydrogen	%	H _{ar}	5.50
10		Nitrogen	%	N _{ar}	0.94
11		Oxygen	%	O _{ar}	13.56

4.2 Proses Pemodelan dan Input Data Kondisi Operasi Beban 100% (30 MW)

Analisis terhadap performa suatu sistem pembangkit dapat dilakukan dengan membuat permodelan pada *software gate cycle* berdasarkan PFD seperti gambar 4.1. Pembangkit listrik tenaga uap di Air Anyer 30 MW berupa daya electricity dengan gross keluaran sebesar 30,5 MW terdiri dari hasil pengurangan *auxiliary consumption* dan *losses* pada pembangkit. Komponen yang pertama yaitu *boiler* tipe *circulating fluidizing bed* berbahan bakar batubara dan. Turbin uap yang digunakan berupa *low pressure turbine* dengan 7 buah ekstraksi. Kondensor yang digunakan bertekanan 0.087 bar. Pembangkit pada Air Anyer Bangka Belitung memiliki 5 macam *feed water heater* yaitu 5 *heater* serta satu deaerator. Heater yang digunakan berupa 3 buah *low pressure heater* dan 2 buah *high pressure heater*. Macam

macam pompa yang digunakan yaitu *condensate pump* dan *feed water pump*.

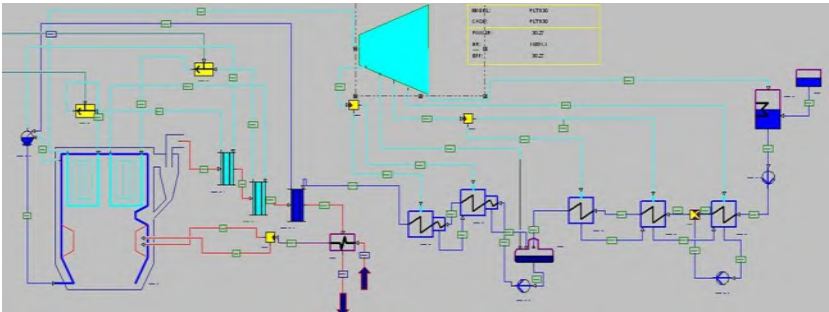


Gambar 4.1 Komponen pendukung sistem pembangkit PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung Unit 2 pada Gatecycle

Pada gambar 4.2 adalah proses mendaftarkan komponen pendukung yang digunakan pada PLTU dimana jumlah dan jenisnya disesuaikan dengan kondisi eksisting PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung Unit 2. Selanjutnya, pada tiap-tiap komponen tersebut dimasukkan variabel-variabel yang menentukan batasan-batasan sesuai dengan kondisi eksisting pembangkit sesuai pada tabel. Setelah itu, komponen-komponen tersebut disambungkan sesuai dengan urutan berdasarkan ketentuan pada skema heat and mass balance.

Tabel 4. 5 Data input permodelan PLTU 3 Air Anyer Bangka

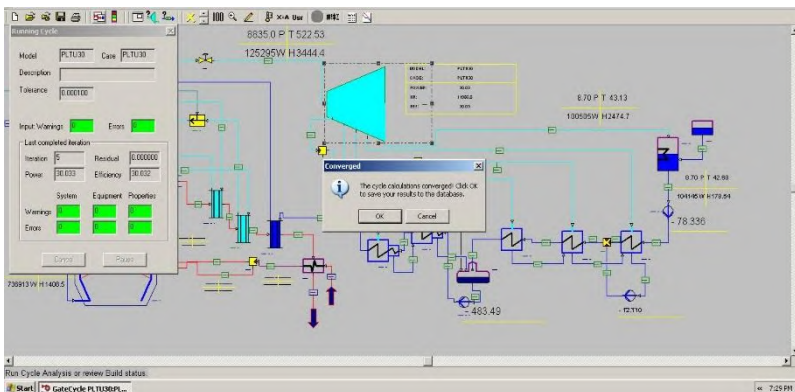
No	Komponen		Tekanan (P)				Temperatur (T)				Laju Massa (m)				Entalpy (h)			
			H B	3928	5145	sat.	H B	3928	5145	sat.	H B	3928	5145	sat.	H B	3928	5145	sat.
1	Boiler	masuk	22.89	22.59	22.89	bar	219.3	205.3	265.31	°C	120.19	110.4	120.19	t/h	945	965.25	945.69	kJ/kg
		keluar	98.1	98.3	98.1	bar	540	550	535	°C	119	108.5	125.53	t/h	3477	3475	3477	kJ/kg
2	Turbin	masuk	88.3	90.35	89.3	bar	535	535	535	°C	119	108.5	125.53	t/h	3590.6	3456	3768.6	kJ/kg
		keluar	0.087	0.087	0.087	bar	43.1	40.2	43	°C	119	108.5	125.53	t/h	2341.6	2201.5	2360.2	kJ/kg
3	kondensor	masuk	0.087	0.087	0.087	bar	43.1	40.2	43	°C	83.66	78.35	83.66	t/h	2370.7	2703.74	2370.7	kJ/kg
		keluar	22.9	20.3	21.58	bar	41.2	37.5	38.2	°C	103.378	103.378	103.378	t/h	172.6	2599.22	172.6	kJ/kg
4	LP FWH 1	masuk (1)	22.9	18	24	bar	42	39.6	40.3	°C	105.33	105.33	105.33	t/h	288	358.957	288	kJ/kg
		keluar (1)	0.298	0.36	0.298	bar	69	80.2	74.2	°C	102.608	102.608	102.608	t/h	391.6	353.5	391.6	kJ/kg
		masuk (2)	0.401	0.5	0.5	bar	76	98	84.1	°C	3.67	3.67	3.67	t/h	2667.5	2846.22	2667.5	kJ/kg
		keluar (2)	0.232	0.25	0.225	bar	81	81	81	°C	14.379	14.379	14.379	t/h	311.4	229.42	311.4	kJ/kg
6	LP FWH 2	masuk (1)	0.298	0.36	0.298	bar	69	80.2	74.2	°C	102.608	102.608	102.608	t/h	391.6	435.2	391.6	kJ/kg
		keluar (1)	0.946	0.946	0.946	bar	98.1	105.3	95.2	°C	102.608	102.608	102.608	t/h	482.9	229.42	482.9	kJ/kg
		masuk (2)	1.22	1.22	1.22	bar	105.6	105.6	105.6	°C	5.31	5.31	5.31	t/h	2789.1	3052.2	2789.1	kJ/kg
		keluar (2)	0.232	0.232	0.232	bar	125	125	125	°C	10.162	10.162	10.162	t/h	415.2	3138	415.2	kJ/kg
7	LP FWH 3	masuk (1)	0.946	0.946	0.946	bar	98.1	105.3	95.2	°C	102.608	102.608	102.608	t/h	482.9	520.818	482.9	kJ/kg
		keluar (1)	2.513	2.513	2.513	bar	127.6	130.3	128.3	°C	102.68	102.68	102.68	t/h	638	742.78	638	kJ/kg
		masuk (2)	3.17	3.17	3.17	bar	164.4	164.4	164.4	°C	3.75	3.75	3.75	t/h	3001.8	522.946	3001.8	kJ/kg
		keluar (2)	0.232	0.232	0.232	bar	196.55	196.55	196.55	°C	4.852	4.852	4.852	t/h	506.7	3119.3	506.7	kJ/kg
8	Deaerator	masuk (1)	2.51	2.51	2.51	bar	127.6	130.3	128.3	°C	102.608	102.608	102.608	t/h	638	575	638	kJ/kg
		keluar (1)	5.88	5.88	5.88	bar	158.1	158.1	158.1	°C	123.76	123.76	123.76	t/h	803.1	770.568	803.1	kJ/kg
		masuk (2)	8.65	8.65	8.65	bar	263.5	263.5	263.5	°C	4.99	4.99	4.99	t/h	3191.9	3244.35	3191.9	kJ/kg
		masuk (3)	0.494	0.494	0.494	bar	151.34	151.34	151.34	°C	14.552	14.552	14.552	t/h	853.6	575	853.6	kJ/kg
9	BFP	masuk	0.3	0.3	0.3	bar	133.54	133.54	133.54	°C	125.96	125.96	125.96	t/h	561.36	1240	561.36	kJ/kg
		keluar	112.98	112.98	112.98	bar	135.04	135	135	°C	125.96	125.96	125.96	t/h	567.95	567.95	567.95	kJ/kg
10	HP FWH 1	masuk (1)	5.88	5.88	5.88	bar	158.1	158.1	158.1	°C	123.76	123.76	123.76	t/h	842.1	842.1	842.1	kJ/kg
		keluar (1)	11.85	11.85	11.85	bar	187.4	187.4	187.4	°C	123.76	123.76	123.76	t/h	952.5	952.5	952.5	kJ/kg
		masuk (2)	14.353	14.353	14.353	bar	320.7	320.7	320.7	°C	5.02	5.02	5.02	t/h	3369.3	3369.3	3369.3	kJ/kg
		keluar (2)	0.494	0.494	0.494	bar	151.1	151.1	151.1	°C	14.552	14.552	14.552	t/h	853.6	853.6	853.6	kJ/kg
11	HP FWH 2	masuk (1)	11.85	11.85	11.85	bar	187.4	187.4	187.4	°C	123.76	123.76	123.76	t/h	952.5	952.5	952.5	kJ/kg
		keluar (1)	22.89	22.59	22.89	bar	219.3	219.3	219.3	°C	130.19	130.19	130.19	t/h	1150.2	1150.2	1150.2	kJ/kg
		masuk (2)	27.35	27.35	27.35	bar	402.4	402.4	402.4	°C	7.72	7.72	7.72	t/h	2939.1	2939.1	2939.1	kJ/kg
		keluar (2)	0.494	0.494	0.494	bar	254.54	254.54	254.54	°C	7.72	7.72	7.72	t/h	969	969	969	kJ/kg



Gambar 4.2 Hasil membangun PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung Unit 2 pada Gatecycle

4.3 *Proses Running dan Validasi*

Proses running awal dilakukan pada beban 100% dengan menggunakan data yang telah diinputkan. Proses simulasi berhasil jika tidak terdapat error sesuai dengan yang ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 4.3 Tampilan Simulasi Pada Gate Cycle Beban 30 MW (100%)

Simulasi telah berhasil sehingga dapat dilakukan proses validasi dengan data CCR. Proses validasi dilakukan dengan

membandingkan daya output turbin uap hasil simulasi dengan data CCR. Data hasil simulasi dan CCR ditunjukkan oleh tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4. 6 Perbandingan Daya output CCR dan Hasil Simulasi Gate Cycle

	Total Daya [kW]	Q	m_F	m_S
CCR	30.020	2554.41	14971.17	116570
Simulasi Gate Cycle	30.033	2365.25	16710	125645.9

Dari tabel 4.6 diatas dapat diketahui *error* (ketidaksesuaian) dari hasil simulasi Gate Cycle dibandingkan dengan data CCR.

- Error total

$$error = \frac{daya\ hasil\ simulasi - daya\ CCR}{daya\ CCR} \times 100\%$$

$$error = \frac{30.033 - 30.020}{30.020} \times 100\%$$

$$error = 0,00433044636 \times 100\%$$

$$error = 0,0433 \%$$

Dengan asumsi bahwa simulasi telah valid jika *error* berada dibawah 2%, maka simulasi dengan beban 30 MW telah valid. Sehingga dapat dilakukan tahapan simulasi

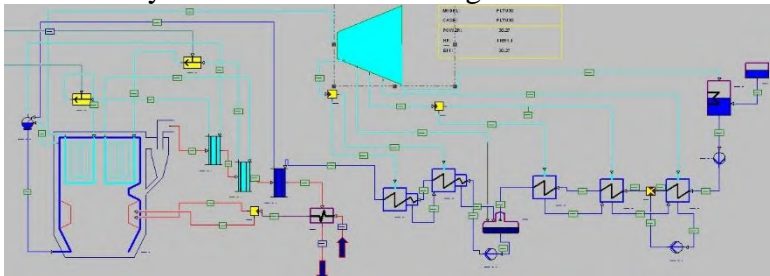
selanjutnya permodelan pembebanan dengan bahan bakar yang berbeda.

4.4 *Proses Simulasi PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung*

4.4.1 Proses Simulasi PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung dengan Beban 100% (30 MW) saat bahan bakar 5145 Kcal/kg

Simulasi dengan beban 100% yaitu beban 30 MW sesuai yang ditunjukkan pada heat balance. Dengan konsumsi bahan bakar pada kondisi yang sama, maka dilakukan simulasi pada bahan bakar terhadap beban yang berbeda.

Setelah dilakukan simulasi, selanjutnya adalah menjalankan perhitungan.. Jika tidak, seperti yang ditunjukkan gambar 4.4 maka running berhasil. Kemudian dapat dilakukan plot data power, thermal efficiency, auxiliary power, untuk heat rate dilakukan perhitungan secara manual. sesuai dengan bahan bakar dengan kalori yang telah ditentukan yaitu LHV 5145 Kcal/Kg.

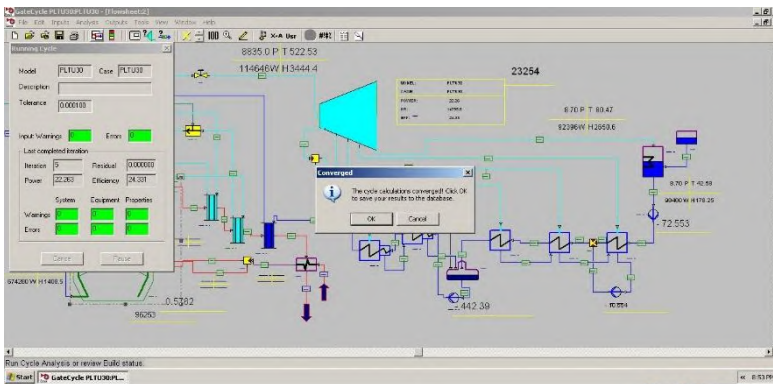


Gambar 4.4 Simulasi PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung beban 100% 30MW

4.4.2 Proses Simulasi PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung dengan Beban 22 MW saat bahan bakar 3928 Kcal/kg

Simulasi dengan beban 100% yaitu beban 30 MW sesuai yang ditunjukkan pada heat balance. Dengan batasan bahwa konsumsi bahan bakar pada kondisi yang sama, maka dilakukan simulasi pada bahan bakar terhadap beban yang berbeda.

Setelah dilakukan simulasi, selanjutnya adalah menjalankan perhitungan.. Jika tidak, seperti yang ditunjukkan gambar 4.4 maka running berhasil. Kemudian dapat dilakukan plot data power, thermal efficiency, auxiliary power, untuk heat rate dilakukan perhitungan secara manual. sesuai dengan bahan bakar dengan kalori yang telah ditentukan yaitu LHV 3928 Kcal/Kg.



Gambar 4.5 Simulasi PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung beban 22,2 MW

4.5 *Analisis Data perhitungan Hasil Simulasi*

4.5.1 Analisa Perhitungan pada saat Bahan Bakar LHV 5145 Kcal/kg dan Beban 30 MW

➤ Power

- Gross power

$$W_{gross} = W_{ST}$$

$$W_{gross} = 30.607 [Kw]$$

- Net power

$$W_{net} = W_{Gross} - W_{Aux}$$

$$W_{net} = 30.607 - 573,93 [kW]$$

$$W_{net} = 30.033 [kW]$$

➤ Thermal Efficiency

- Gross thermal efficiency

$$\eta_{gross} = \frac{\text{gross power}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{gross} = \frac{30.607 [kW]}{100565 [kW]} \times 100\%$$

$$\eta_{gross} = 30.607\%$$

➤ Net thermal efficiency

$$\eta_{net} = \frac{\text{net power}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{net} = \frac{30.033 [kW]}{100565 [kW]} \times 100\%$$

$$\eta_{net} = 30.033\%$$

➤ Plant Heat Rate

- Gross plant heat rate

$$\begin{aligned} \text{gross plant heat rate} &= \frac{(\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot \text{LHV})}{\text{gross power}} \\ \text{gross plant heat rate} &= \frac{((16791.17) \text{ kg/h}) \cdot 21457.1 \text{ kJ/kg}}{30.607 \text{ kW}} \\ \text{gross plant heat rate} &= 11771.25 \text{ kJ/kWh} \end{aligned}$$

- Net plant heat rate

$$\begin{aligned} \text{Net plant heat rate} &= \frac{(\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot \text{LHV})}{\text{net power}} \\ \text{Net plant heat rate} &= \frac{((16791.17) \text{ kg/h}) \cdot 21457.1 \text{ kJ/kg}}{30.033 \text{ kW}} \\ \text{Net plant heat rate} &= 11996.46 \text{ kJ/kWh} \end{aligned}$$

4.6 Pembahasan Hasil Simulasi Pengaruh Perubahan Bahan Bakar Terhadap performa PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung

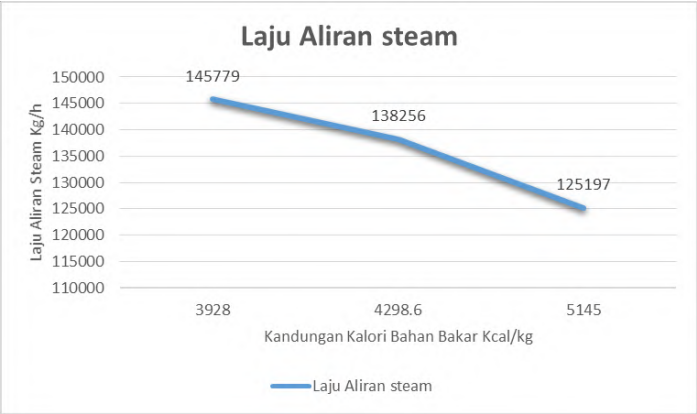
Tabel 4.7 hasil output simulasi gate cycle dan perhitungan

Total Power	LHV	Mcoal	capacity	efisiensi	Heat Rate	Msteam	Q
MW	Kcal/Kg	ton/h	coal handling ton/h	%	Kj/Kwh	kg/h	Kj/s
30.2	5145	16.71	25	30.03	11651.1	125197	100565

30.11	3928	21.94	25	25.45	11759.3	145779	118310
30.3	4298.6	20	25	26.71	11852.1	138256	113440

Total Power	LHV	Mcoal	capacity	efisiensi	Heat Rate	Msteam	Q
MW	Kcal/Kg	ton/h	coal handling ton/h	%	Kj/Kwh	kg/h	Kj/s
30.2	5145	16.71	25	30.225	11985.95	125197	99917
30.11	3928	21.94	25	26.62	12262.2	145779	107921
30.3	4298.6	20	25	27.9	11964.4	138256	108602

4.6.1 Pengaruh Bahan Bakar terhadap Mass Flow Steam inlet turbine



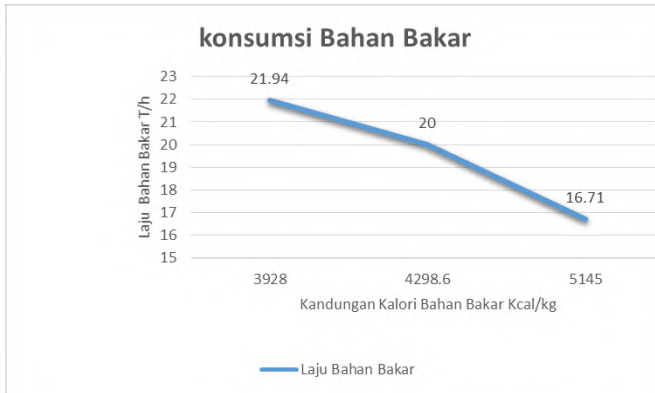
Gambar 4.6 Grafik bahan bakar terhadap Mass flow rate

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa grafik Laju aliran massa uap terhadap bahan bakar cenderung fluktuatif karena semakin tinggi kalori bahan bakar, maka semakin tinggi pula laju aliran uap pembangkit tersebut dan juga beban akan naik. Nilai laju aliran uap terendah pada saat bahan bakar sebesar 3928 kcal/kg pada keadaan operasi yaitu sebesar 122163 kg/h. jika dibandingkan dengan kondisi pada saat commissioning bahan bakar sebesar 5145 kcal/kg pada keadaan operasi (komisioning) yaitu sebesar 125197 kg/h. sedangkan nilai laju aliran uap tertinggi adalah pada saat bahan bakar sebesar 5145 kcal/kg yaitu sebesar 125197 kg/h. Dari gambar dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kalori pada bahan bakar maka laju alir uap bahan bakar yang dihasilkan PLTU 3 Air Anyir Bangka Belitung akan mengalami peningkatan.

Dari gambar diatas, dapat dilihat bahwa trendline pada grafik cenderung naik dan turun karena perbedaan bahan bakar yang berbeda jauh.

Hal ini di karenakan pada bahan bakar 3928 Kcal/kg dan 4298.64 Kcal/kg membutuhkan konsumsi bahan bakar yang cukup tinggi untuk mencapai beban yang tinggi di bandingkan bahan bakar 5145 kcal/kg hanya membutuhkan konsumsi bahan bakar yang sedikit untuk mencapai beban yang sama. Hal tersebut karena kalori antar bahan bakar yang berbeda.

4.6.2 Pengaruh Konsumsi Bahan Bakar terhadap Kalor Bahan Bakar



Gambar 4.7 Grafik bahan bakar terhadap Konsumsi Bahan bakar

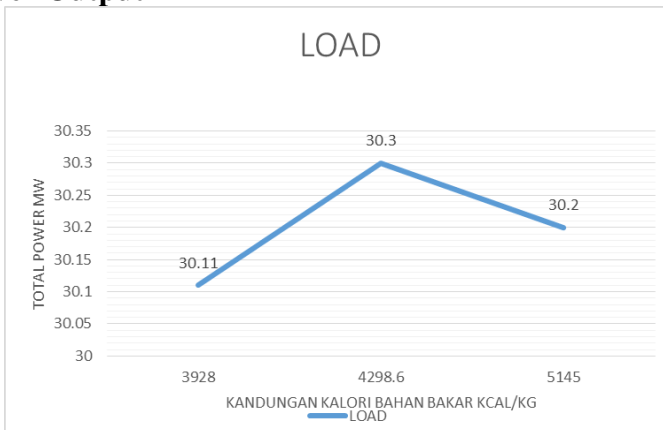
Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa grafik Laju konsumsi bahan bakar terhadap bahan bakar cenderung meningkat karena semakin tinggi kalori bahan bakar, maka semakin tinggi pula efisiensi pembangkit tersebut dan juga beban akan naik. Nilai laju konsumsi terendah pada saat bahan bakar sebesar 5145 kcal/kg pada keadaan operasi yaitu sebesar 16.71 T/h. jika dibandingkan dengan kondisi pada saat commissioning bahan bakar sebesar 5145 kcal/kg pada keadaan operasi (komisioning) yaitu sebesar 16.71 t/h. sedangkan nilai laju konsumsi tertinggi adalah pada saat bahan bakar sebesar 4298.64 kcal/kg yaitu sebesar 25 t/h. Dari gambar dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kalori pada bahan bakar maka laju konsumsi bahan bakar yang dihasilkan PLTU 3 Air Anyir Bangka Belitung akan mengalami peningkatan.

Dari gambar diatas, dapat dilihat bahawa trendline pada bahan bakar 4298.64 kcal/kg selalu meningkat dengan nilai laju konsumsi tertinggi pada adalah sebesar 25 t/h, dan

terendah pada bahan bakar 5145 Kcal/kg adalah sebesar 16.71 t/h. Sementara pada bahan bakar 3928 Kcal/kg trendline cenderung menurun adalah sebesar 17.1 t/h.

Hal ini di karenakan pada bahan bakar 3928 Kcal/kg dan 4298.64 Kcal/kg membutuhkan konsumsi bahan bakar yang cukup tinggi untuk mencapai beban yang tinggi di bandingkan bahan bakar 5145 kcal/kg hanya membutuhkan konsumsi bahan bakar yang sedikit untuk mencapai beban yang sama. Hal tersebut karena kalori antar bahan bakar yang berbeda.

4.6.3 Pengaruh Perubahan Bahan Bakar terhadap Net Power Output



Gambar 4.8 Grafik bahan bakar terhadap Net Power Output

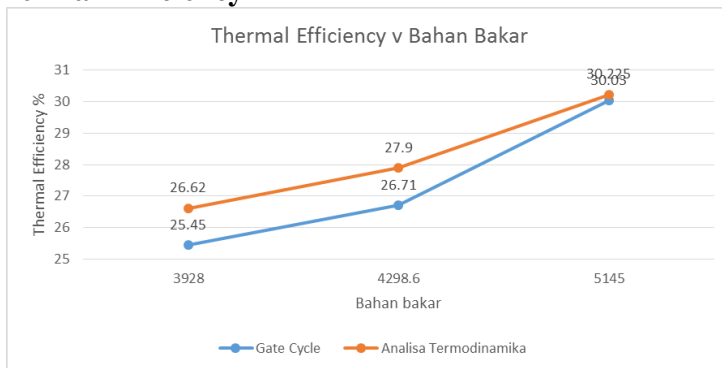
Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa grafik net power output terhadap bahan bakar cenderung meningkat karena semakin tinggi kalori bahan bakar, maka semakin tinggi pula power maksimum pembangkit tersebut dan juga beban akan naik. Nilai net power output terendah pada saat bahan bakar sebesar 5145 kcal/kg pada keadaan operasi yaitu sebesar 30.2 MW. jika dibandingkan dengan kondisi pada

saat commissioning bahan bakar sebesar 5145 kcal/kg pada keadaan operasi (komisioning) yaitu sebesar 30.01. sedangkan nilai net power output tertinggi adalah pada saat bahan bakar sebesar 4298.64 kcal/kg pada keadaan bahan bakar baru yaitu sebesar Dari gambar dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kalori pada bahan bakar maka net power Output yang dihasilkan PLTU 3 Air Anyir Bangka Belitung akan mengalami peningkatan.

Dari gambar diatas, dapat dilihat bahawa trendline pada bahan bakar 4298.64 kcal/kg selalu meningkat dengan nilai power tertinggi pada beban 30.6 MW dan terendah pada bahan bakar 5145 Kcal/kg adalah sebesar 30.2%.

Hal ini di karenakan pada bahan bakar 3928 Kcal/kg dan 4298.64 Kcal/kg membutuhkan konsumsi bahan bakar yang cukup tinggi untuk mencapai beban yang tinggi di bandingkan bahan bakar 5145 kcal/kg hanya membutuhkan konsumsi bahan bakar yang sedikit untuk mencapai beban yang sama. Hal tersebut karena kalori antar bahan bakar yang berbeda.

4.6.4 Pengaruh Perubahan Bahan bakar terhadap Net Thermal Efficiency



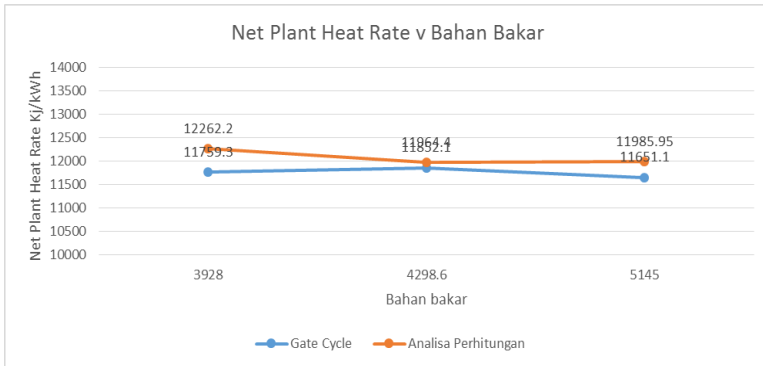
Gambar 4.9 Grafik bahan bakar terhadap Thermal Efficiency

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa grafik efisiensi terhadap bahan bakar cenderung meningkat karena semakin tinggi kalori bahan bakar, maka semakin tinggi pula efisiensi pembangkit tersebut dan juga beban akan naik. Nilai net thermal efficiency terendah pada saat bahan bakar sebesar 3928 kcal/kg pada keadaan operasi yaitu sebesar 26.71%. jika dibandingkan dengan kondisi pada saat commissioning bahan bakar sebesar 5145 kcal/kg pada keadaan operasi (komisioning) yaitu sebesar 30.03% atau mengalami penurunan sebesar 3.22 %. sedangkan nilai net thermal efficiency tertinggi adalah pada saat bahan bakar sebesar 5145 kcal/kg pada keadaan operasi (komisioning) yaitu sebesar 30.03 %, Dari gambar dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kalori pada bahan bakar maka net thermal efficiency yang dihasilkan PLTU 3 Air Anyir Bangka Belitung akan mengalami peningkatan.

Dari gambar diatas, dapat dilihat bahawa trendline pada bahan bakar 5145 kcal/kg selalu meningkat dengan nilai efisiensi tertinggi pada beban 30.12 MW adalah sebesar 30.03%, dan terendah pada bahan bakar 4298.64 Kcal/kg adalah sebesar 25.45%. Sementara pada bahan bakar 3928 Kcal/kg trendline cenderung menurun adalah sebesar 26.71% %.

Hal ini di karenakan pada bahan bakar 3928 Kcal/kg dan 4298.64 Kcal/kg membutuhkan konsumsi bahan bakar yang cukup tinggi untuk mencapai beban yang tinggi di bandingkan bahan bakar 5145 kcal/kg hanya membutuhkan konsumsi bahan bakar yang sedikit untuk mencapai beban yang sama. Hal tersebut karena kalori antar bahan bakar yang berbeda.

4.6.5 Pengaruh Perubahan Bahan Bakar terhadap Net Heat Rate



Gambar 4.10 Grafik bahan bakar terhadap Net Plant Heat Rate

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa net heat rate terendah adalah pada saat bahan bakar sebesar 5145 kcal/kg pada keadaan operasi (komisioning) yaitu sebesar 11651.1[kJ/kWh], jika dibandingkan dengan kondisi pada bahan bakar yang kalori rendah sebesar 3928 Kcal/kg net heat rate mengalami kenaikan sebesar 11759.3 [kJ/kWh] . sedangkan pada saat bahan bakar sebesar 5145 kcal/kg pada keadaan operasi (komisioning) yaitu sebesar 11651.1 [kJ/kWh], Dari gambar dapat disimpulkan bahwa semakin rendah bahan bakar pada pembangkit, maka net heat rate yang dihasilkan PLTU 3 Air Anyir Bangka Belitung akan mengalami peningkatan.

Dari gambar diatas, dapat dilihat bahawa trendline pada bahan bakar 3928 kcal/kg selalu meningkat dengan nilai net plant heat rate tertinggi pada beban 30.12 MW adalah sebesar 11759.3 Kj/Kwh dan pada bahan bakar baru 4298.64 Kcal/kg adalah sebesar 13916.3kj/kwh. Sementara pada bahan bakar 5145 Kcal/kg trendline cenderung

menurun dengan nilai tertinggi pada bahan bakar baru 4298.64 Kcal/kg adalah sebesar 13916.3kj/kwh dan terendah pada bahan bakar 5145 Kcal/kg adalah sebesar 11651.1[kJ/kWh],.

Hal ini di karenakan pada bahan bakar 3928 Kcal/kg dan 4298.64 Kcal/kg membutuhkan konsumsi bahan bakar yang cukup tinggi untuk mencapai beban yang tinggi sehingga panas yang masuk ke dalam siklus juga tinggi di bandingkan bahan bakar 5145 kcal/kg hanya membutuhkan konsumsi bahan bakar yang sedikit untuk mencapai beban yang sama sehingga panas yang masuk kedalam siklus juga cukup rendah. Hal tersebut karena kalori antar bahan bakar yang berbeda.

4.7 Audit Energi Pada Boiler PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung

4.7.1 Analisa Perhitungan Efisiensi Boiler Indirect Method

Perhitungan efisiensi ini menggunakan metode kehilangan panas (*heat loss*). Perhitungan *indirect method* memperhatikan *fuel analysis* dan *flue gas* yang dihasilkan dari pembakaran.

4.7.1.1 Analisa Perhitungan Efisiensi indirect method dengan Bahan Bakar HHV 3928 Kcal/Kg

Data *fuel analysis* dan *flue gas* ditampilkan pada tabel

4.5

Tabel 4.7 Data Perhitungan Efisiensi dengan *Indirect Method*

<i>Ultimate Analysis</i>	Nilai	Unit
Carbon	65,34	%
Hidrogen	4,5	%

Nitrogen	1,36	%
Ash	4.32	%
Moisture	12,33	%
Oksigen	12,15	%
<i>Proximate Analysis</i>	Nilai	Unit
HHV	3928	Kcal/k g
Laju bahan bakar	14900	Kg/hr
<i>HHV bottom ash</i>	0	Kcal/k g
<i>HHV fly ash</i>	0	Kcal/k g
<i>Ratio bottom ash to fly ash</i>	80 : 20	
<i>Flue Gas Analysis</i>	Nilai	Unit
Karbon dioksida	0	%
Karbon monoksida	0	%
Oksigen	3.2	%
<i>Flue gas temperature (Tf)</i>	153,15	°C
<i>Ambient temperature (Ta)</i>	30	°C
<i>Humidity ratio</i>	0,024	Kg/kg dry air
<i>Surface Temp of boiler</i>	50,4	°C
<i>Wind velocity around boiler</i>	32	m/s

a. Udara teoritis yang dibutuhkan (*Theoretical air required, TA*)

Dirumuskan : $TA =$

$$\frac{[(11,6 \times C) + (34,8 \times (H_2 - \frac{O_2}{8})) + (4,35 \times S)]}{100} =$$

$$\frac{[(11,6 \times 65,34) + (34,8 \times (4,5 - \frac{12,15}{8})) + (4,35 \times 0,11)]}{100}$$

$$= 8,6217 \text{ kg/kg batubara}$$

b. Kelebihan udara yang tersedia (*Excess Air supplied, EA*)

Dirumuskan : $EA = \frac{(O_2 \times 100)}{(21 - O_2)}$

$$= \frac{(3,2 \times 100)}{(21 - 3,2)}$$

$$= 17,98 \%$$

c. Massa aktual udara yang tersedia (*Actual mass of air supplied, AAS*)

Dirumuskan : $AAS = \left(1 + \frac{EA}{100}\right) \times TA$

$$= \left(1 + \frac{17,98}{100}\right) \times 8,6217$$

$$= 10,17 \text{ kg/kg batubara}$$

d. Massa gas buang kering (\dot{m}_{fg})

Dirumuskan : $(\dot{m}_{fg}) = \text{Mass of } (CO_2 + N_2) +$

$$\text{Mass } N_2 \text{ of in combustion air} + \text{Mass of } O_2 \text{ in flue gas}$$

$$= \frac{0,6534 \times 44}{12} + 0,0136 + \frac{10,17 \times 77}{100} +$$

$$\frac{10,17 \times 8,6217}{100}$$

$$= 10,6 \text{ kg/kg gas alam}$$

Perhitungan *heat loss* adalah sebagai berikut :

1. Kerugian akibat gas buang kering (L_1)

Gas buang hasil pembakaran dari *boiler* masih memiliki kalor yang tinggi. Hal ini menimbulkan kerugian yang berdampak terhadap penurunan efisiensi *boiler*.

$$L_1 = \frac{m_{fg} \times Cp \times (T_f - T_a)}{HHV} \times 100$$

$$L_1 = \frac{10,60 \times 0,24 \times (153,15 - 30)}{3928} \times 100$$

$$= 7,64 \%$$

2. Kerugian panas akibat pembentukan air karena kandungan H_2 pada bahan bakar (L_2).

Unsur hidrogen didalam bahan bakar menyebabkan terbentuknya uap air (H_2O) pada proses pembakaran. Akibatnya kalor akibat pembakaran bahan bakar di *boiler* diserap oleh uap air ini, sehingga mengurangi kalor yang digunakan untuk menguapkan air umpan.

$$L_2 = \frac{9 \times H_2 \times \{584 + Cp(T_f - T_a)\}}{HHV} \times 100$$

$$L_2 = \frac{9 \times 0,045 \times \{584 + 0,45(153,15 - 30)\}}{3928} \times 100$$

$$= 6,59 \%$$

3. Kerugian panas kandungan H_2O pada bahan bakar (L_3).

Air dalam bahan bakar tidak akan bereaksi dalam proses pembakaran dan akan menyerap kalor dari hasil pembakaran. Akibatnya akan mengurangi kalor yang digunakan untuk menguapkan air umpan.

$$L_3 = \frac{M \times \{584 + Cp(T_f - T_a)\}}{HHV} \times 100$$

$$L_3 = \frac{0,1233 \times \{584 + 0,45(153,15 - 30)\}}{3928} \times 100$$

$$= 2,01 \%$$

4. Kerugian panas akibat kandungan H₂O di udara (L₄).

Udara pembakaran yang diambil dari udara bebas, selalu mengandung uap air. Uap air ini tidak bereaksi selama proses pembakaran dan akan menyerap kalor yang dihasilkan dari pembakaran dalam *boiler*, sehingga mengurangi kalor yang digunakan untuk menguapkan air umpan.

$$L_4 = \frac{AAS \times humidity\ factor \times Cp \times (T_f - T_a)}{HHV} \times 100$$

$$L_4 = \frac{10,17 \times 0,024 \times 0,45 \times (153,15 - 30)}{3928} \times 100$$

$$= 0,65 \%$$

5. Kerugian panas akibat pembakaran tidak sempurna (L₅).

Kerugian panas yang terjadi karena abu atau terak yang masih mengandung kalor, yang masih dapat digunakan.

$$L_5 = \frac{\%CO \times C}{\%CO + \%CO_2} \times \frac{5744}{HHV} \times 100$$

Kandungan *flue gas* tidak terdapat karbon monoksida (CO), sehingga diasumsikan pembakaran berlangsung sempurna dan $L_5 = 0$

6. Kerugian panas akibat radiasi, konveksi dan parameter tak terhitung lainnya (L₆).

Radiasi panas yang keluar dari dinding – dinding *boiler* ikut mengurangi kalor yang digunakan oleh *boiler* untuk menguapkan air umpan (*feed water*).

$$L_6 = \left(0,548 \times \left[\left(\frac{T_s}{55,55} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{55,55} \right)^4 \right] \right) + (1,957 \times [(T_s - T_a)^{1,25}]) \times \sqrt{\frac{(196,85 V_m + 68,9)}{68,9}}$$

$$L_6 = \left(0,548 \times \left[\left(\frac{50,4}{55,55} \right)^4 - \left(\frac{30}{55,55} \right)^4 \right] \right) + (1,957 \times [(50,4 - 30)^{1,25}]) \times \sqrt{\frac{(196,85 \cdot 32 + 68,9)}{68,9}}$$

$$L_6 = 825,7 \text{ kCal/m}^2$$

total radiasi dan konveksi adalah $825,7 \times 170,68$ (luas boiler)
 $= 140930,8 \text{ kcal}$

$$\begin{aligned} L_6 (\%) &= \frac{(Total \text{ radiation} \times 100)}{HHV \times fuel \text{ firing rate}} \\ &= \frac{(140930,8 \times 100)}{3928 \times 17900} \\ &= 0,2 \% \end{aligned}$$

7. Kerugian panas akibat tidak terbakarnya *fly ash* (L_7).

Kerugian panas yang terjadi karena tidak terbakarnya *fly ash* yang masih mengandung kalor, yang masih dapat digunakan.

$$L_7 = \frac{\frac{Total \text{ ash collected}}{kg \text{ of fuel burnt}}}{GCV \text{ of fuel}} \times GCV \text{ of fly ash} \times 100$$

Dikarenakan data GCV dari *fly ash* tidak didapatkan, maka diasumsikan tidak menghasilkan *fly ash* dan $L_7 = 0$

8. Kerugian panas akibat tidak terbakarnya *bottom ash* (L_8).

Kerugian panas yang terjadi karena tidak terbakarnya *bottom ash* yang masih mengandung kalor, yang masih dapat digunakan.

$$L_8 = \frac{\frac{\text{Total ash collected}}{\text{kg of fuel burnt}}}{\text{GCV of fuel}} \times \text{GCV of bottom ash} \times 100$$

Dikarenakan data GCV dari *bottom ash* tidak didapatkan, maka diasumsikan tidak menghasilkan *fly ash* (L_8) = 0

9. Kerugian panas akibat terbakarnya *limestone* (L_9).

Kerugian panas yang terjadi karena terbakarnya *limestone*.

$$L_9 = \frac{\text{Feed rate } \text{CaCO}_3 \times 1830}{\text{fuel feed rate} \times \text{GCV}}$$

Dikarenakan *limestone* tidak digunakan, maka kerugian karena *limestone* (L_9) = 0

10. Kerugian panas akibat kandungan H_2O pada *limestone* (L_{10}).

Air dalam *limestone* tidak akan bereaksi dalam proses pembakaran dan akan menyerap kalor dari hasil pembakaran. Akibatnya akan mengurangi kalor yang digunakan untuk menguapkan air umpan.

$$L_{10} = \frac{\text{Feed rate } \text{CaCO}_3 \times \text{Moisture in Fuel} \times (h_2 - h_1) \times 100}{\text{GCV of fuel}}$$

Dikarenakan *limestone* tidak digunakan, maka kerugian karena *limestone* (L_{10}) = 0

11. Kerugian yang tidak terhitung (*Uncountable losses*) (L_{11})

Kerugian yang tidak terhitung diasumsikan sebesar 1%.

Efisiensi boiler dengan *indirect method* sebagai berikut

$$\text{Efisiensi boiler (\%)} = 100 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8 + L_9 + L_{10} + L_{11})$$

$$\text{Efisiensi boiler (\%)} = 100 - (7,64 + 6,59 + 2,01 + 0,65 + 0 + 0,2 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1)$$

$$\text{Efisiensi boiler (\%)} = 81,91\%$$

4.7.1.2 Analisa Perhitungan Efisiensi indirect method dengan Bahan Bakar HHV 5145 Kcal/Kg

Tabel 4.8 Data Perhitungan Efisiensi Indirect method
5145Kcal/Kg

No	Description		Unit	Dest.	Present Value
1	Correction of Fuel				
1	Total Moisture		%	TM	37.30
2	Proximate	Moisture	%	IM	13.75
3		Ash Content	%	A_{ar}	10.20
4		Volatile Matter	%	V_{daf}	40.05
5		Fixed Carbon	%	C	36.00
6	Total Sulfur (S_{ar})		%	S_{ar}	0.48
7	Gross Calorific Value (HHV)		Kcal/kg	HHV	5,145
8	Ultimate	Total Carbon	%	C_{ar}	55.58
9		Total Hydrogen	%	H_{ar}	5.50
10		Nitrogen	%	N_{ar}	0.94
11		Oxygen	%	O_{ar}	13.56

a. Udara teoritis yang dibutuhkan (*Theoretical air required, TA*)

Dirumuskan : $TA =$

$$\frac{[(11,6 \times C) + \left(34,8 \times \left(H_2 - \frac{O_2}{8}\right)\right) + (4,35 \times S)]}{100}$$

100

$$= \frac{[(11,6 \times 55,58) + (34,8 \times (5,5 - \frac{13,56}{8})) + (4,35 \times 0,48)]}{100}$$

$$= 7,7923 \text{ kg/kg batubara}$$

b. Kelebihan udara yang tersedia (*Excess Air supplied, EA*)

$$\begin{aligned} \text{Dirumuskan : EA} &= \frac{(O_2 \times 100)}{(21 - O_2)} \\ &= \frac{(8,76 \times 100)}{(21 - 8,76)} \\ &= 71,56 \% \end{aligned}$$

c. Massa aktual udara yang tersedia (*Actual mass of air supplied, AAS*)

$$\begin{aligned} \text{Dirumuskan : AAS} &= \left(1 + \frac{EA}{100}\right) \times TA \\ &= \left(1 + \frac{71,56}{100}\right) \times 7,7923 \text{ kg/kg Batu} \\ &\quad \text{bara} \\ &= 13,369 \text{ kg/kg batubara} \end{aligned}$$

d. Massa gas buang kering (\dot{m}_{fg})

$$\begin{aligned} \text{Dirumuskan : } (\dot{m}_{fg}) &= \text{Mass of } (CO_2 + N_2) + \\ &\quad \text{Mass } N_2 \text{ of in combustion air} + \text{Mass of } O_2 \text{ in flue gas} \\ &= \frac{0,6534 \times 44}{12} + 0,0094 + \frac{10,17 \times 80,21}{100} + \\ &\quad \frac{10,17 \times 8,76}{100} \\ &= 11,45 \text{ kg/kg gas alam} \end{aligned}$$

Perhitungan *heat loss* adalah sebagai berikut :

1. Kerugian akibat gas buang kering (L_1)

Gas buang hasil pembakaran dari *boiler* masih memiliki kalor yang tinggi. Hal ini menimbulkan kerugian yang berdampak terhadap penurunan efisiensi *boiler*.

$$L_1 = \frac{m_{fg} \times Cp \times (T_f - T_a)}{HHV} \times 100$$

$$L_1 = \frac{11,45 \times 0,24 \times (150,9778 - 30,6)}{5145} \times 100$$

$$= 6,42 \%$$

2. Kerugian panas akibat pembentukan air karena kandungan H₂ pada bahan bakar (L₂).

Unsur hidrogen didalam bahan bakar menyebabkan terbentuknya uap air (H₂O) pada proses pembakaran. Akibatnya kalor akibat pembakaran bahan bakar di *boiler* diserap oleh uap air ini, sehingga mengurangi kalor yang digunakan untuk menguapkan air umpan.

$$L_2 = \frac{9 \times H_2 \times \{584 + Cp(T_f - T_a)\}}{HHV} \times 100$$

$$L_2 = \frac{9 \times 0,055 \times \{584 + 0,45(150,9778 - 30,6)\}}{5145} \times 100$$

$$= 6,139 \%$$

3. Kerugian panas kandungan H₂O pada bahan bakar (L₃).

Air dalam bahan bakar tidak akan bereaksi dalam proses pembakaran dan akan menyerap kalor dari hasil pembakaran. Akibatnya akan mengurangi kalor yang digunakan untuk menguapkan air umpan.

$$L_3 = \frac{M \times \{584 + Cp(T_f - T_a)\}}{HHV} \times 100$$

$$L_3 = \frac{0,1375 \times \{584 + 0,45(150,9778 - 30,6)\}}{5145} \times 100$$

$$= 1.7055 \%$$

4. Kerugian panas akibat kandungan H₂O di udara (L₄).

Udara pembakaran yang diambil dari udara bebas, selalu mengandung uap air. Uap air ini tidak bereaksi selama proses pembakaran dan akan menyerap kalor yang dihasilkan dari pembakaran dalam *boiler*, sehingga mengurangi kalor yang digunakan untuk menguapkan air umpan.

$$L_4 = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times Cp \times (T_f - T_a)}{HHV} \times 100$$

$$L_4 = \frac{13.369 \times 0,024 \times 0,45 \times (150.9778 - 30.6)}{5145} \times 100$$

$$= 0.3378 \%$$

5. Kerugian panas akibat pembakaran tidak sempurna (L₅).

Kerugian panas yang terjadi karena abu atau terak yang masih mengandung kalor, yang masih dapat digunakan.

$$L_5 = \frac{\%CO \times C}{\%CO + \%CO_2} \times \frac{5744}{HHV} \times 100$$

Kandungan *flue gas* tidak terdapat karbon monoksida (CO), sehingga diasumsikan pembakaran berlangsung sempurna dan $L_5 = 0$

6. Kerugian panas akibat radiasi, konveksi dan parameter tak terhitung lainnya (L₆).

Radiasi panas yang keluar dari dinding – dinding *boiler* ikut mengurangi kalor yang digunakan oleh *boiler* untuk menguapkan air umpan (*feed water*).

$$L_6 = \left(0,548 \times \left[\left(\frac{T_s}{55,55} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{55,55} \right)^4 \right] \right) + (1,957 \times [(T_s - T_a)^{1,25}]) \times \sqrt{\frac{(196,85 V_m + 68,9)}{68,9}}$$

$$L_6 = \left(0,548 \times \left[\left(\frac{50}{55,55} \right)^4 - \left(\frac{30,6}{55,55} \right)^4 \right] \right) + (1,957 \times [(50 - 30,6)^{1,25}]) \times \sqrt{\frac{(196,85 \cdot 32 + 68,9)}{68,9}}$$

$$L_6 = 766.298 \text{ kCal/m}^2$$

total radiasi dan konveksi adalah $766.298 \times 170,68$ (luas boiler) = 130791.7549 kcal

$$\begin{aligned} L_6 (\%) &= \frac{(Total \text{ radiation} \times 100)}{HHV \times \text{fuel firing rate}} \\ &= \frac{(130791.7549 \times 100)}{5145 \times 24900} \\ &= 0,1 \text{ \%} \end{aligned}$$

7. Kerugian panas akibat tidak terbakarnya *fly ash* (L_7).

Kerugian panas yang terjadi karena tidak terbakarnya *fly ash* yang masih mengandung kalor, yang masih dapat digunakan.

$$L_7 = \frac{\frac{Total \text{ ash collected}}{kg \text{ of fuel burnt}}}{GCV \text{ of fuel}} \times GCV \text{ of fly ash} \times 100$$

Dikarenakan data GCV dari *fly ash* tidak didapatkan, maka diasumsikan tidak menghasilkan *fly ash* dan $L_7 = 0$

8. Kerugian panas akibat tidak terbakarnya *bottom ash* (L_8).

Kerugian panas yang terjadi karena tidak terbakarnya *bottom ash* yang masih mengandung kalor, yang masih dapat digunakan.

$$L_8 = \frac{\text{Total ash collected}}{\text{kg of fuel burnt}} \times \frac{\text{GCV of bottom ash}}{\text{GCV of fuel}} \times 100$$

Dikarenakan data GCV dari *bottom ash* tidak didapatkan, maka diasumsikan tidak menghasilkan *fly ash* (L_8) = 0

9. Kerugian panas akibat terbakarnya *limestone* (L_9).

Kerugian panas yang terjadi karena terbakarnya *limestone*.

$$L_9 = \frac{\text{Feed rate CaCO}_3 \times 1830}{\text{fuel feed rate} \times \text{GCV}}$$

Dikarenakan *limestone* tidak digunakan, maka kerugian karena *limestone* (L_9) = 0

10. Kerugian panas akibat kandungan H_2O pada *limestone* (L_{10}).

Air dalam *limestone* tidak akan bereaksi dalam proses pembakaran dan akan menyerap kalor dari hasil pembakaran. Akibatnya akan mengurangi kalor yang digunakan untuk menguapkan air umpan.

$$L_{10} = \frac{\text{Feed rate CaCO}_3 \times \text{Moisture in Fuel} \times (h_2 - h_1) \times 100}{\text{GCV of fuel}}$$

Dikarenakan *limestone* tidak digunakan, maka kerugian karena *limestone* (L_{10}) = 0

11. Kerugian yang tidak terhitung (*Uncountable losses*) (L_{11})

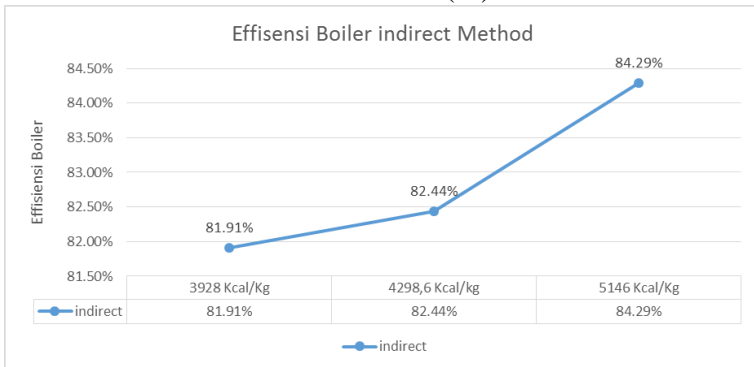
Kerugian yang tidak terhitung diasumsikan sebesar 1%.

Efisiensi boiler dengan *indirect method* sebagai berikut

$$\text{Efisiensi boiler (\%)} = 100 - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8 + L9 + L10 + L11)$$

$$\text{Efisiensi boiler (\%)} = 100 - (6.42 + 6.139 + 1.755 + 0,3378 + 0 + 0.1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1)$$

$$\text{Efisiensi boiler (\%)} = 84.29\%$$



Gambar 4.11 Grafik Efisiensi Boiler Indirect Method terhadap bahan bakar

4.7.2 Analisa Perhitungan Efisiensi Boiler Direct Method

4.7.2.1 Analisa Perhitungan Efisiensi direct method dengan Bahan Bakar 3928 Kcal/Kg

Tabel 4.9 Data Efisiensi Direct method 3928 kcal/kg

Heat Output Data		
quantity of steam generated(Ms)	116.1	t/h
steam pressure/temperature	7.6/521	Mpa/C
Enthalpy of steam(he)	768.45	kCal/kg
feed water temperature	202.2	C
Entalphy of feed water(hi)	265.53	kCal/kg
Heat Input Data		
Quantity of coal consumed(Mbb)	17.1	t/h
GCV of coal	3928	kCal/kg

Efisiensi boiler direct dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{efisiensi boiler } (\eta) &= \frac{\text{Heat addition to steam}}{\text{Gross Heat in fuel}} \times 100\% \\
 &= \frac{\text{Efisiensi boiler } (\eta)}{\text{Steam flow rate} \times (\text{steam enthalpy} - \text{feed water enthalpy})} \times 100\% \\
 &= \frac{\text{Efisiensi boiler } (\eta)}{\text{Fuel firing rate} \times \text{Gross calorific Value}} \times 100\% \\
 &= \frac{116.1 \times (768,45 - 265.33)}{17,1 \times 3928} \times 100\% \\
 \text{efisiensi boiler } (\eta) &= 86,92\%
 \end{aligned}$$

4.7.2.2 Analisa Perhitungan Efisiensi direct method dengan Bahan Bakar 5145 kcal/Kg

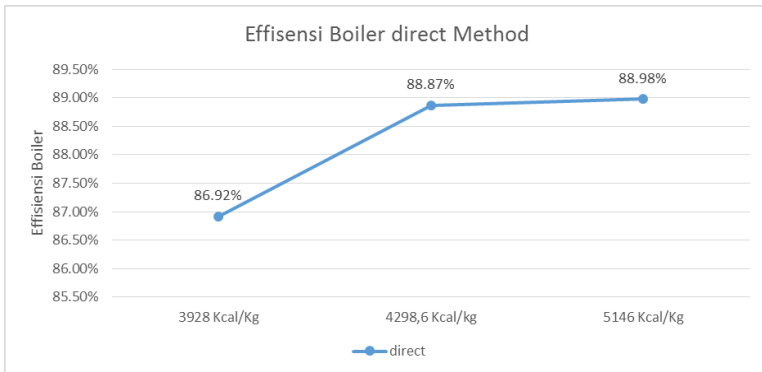
Tabel 4.10 Data Efisiensi Direct method 5145 kcal/kg

Heat Output Data		
quantity of steam generated	125.19	t/h
steam pressure/temperature	8.7/540	Mpa/C
Enthalpy of steam	798.6	kCal/kg
feed water temperature	198.1	C
Entalphy of feed water	187.5	kCal/kg
Heat Input Data		
Quantity of coal consumed	16.71	t/h
GCV of coal	5145	kCal/kg

Efisiensi boiler direct dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{efisiensi boiler } (\eta) = \frac{\text{Heat addition to steam}}{\text{Gross Heat in fuel}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Efisiensi boiler } (\eta) \\
 &= \frac{\text{Steam flow rate} \times (\text{steam enthalpy} - \text{feed water enthalpy})}{\text{Fuel firing rate} \times \text{Gross calorific Value}} \times 100\% \\
 & \text{Efisiensi boiler } (\eta) \\
 &= \frac{125.19 \times (789.6 - 187.5)}{16,71 \times 5145} \times 100\% \\
 & \text{efisiensi boiler } (\eta) = 88,98\%
 \end{aligned}$$



Gambar 4.12 Grafik efisiensi Boiler direct Method terhadap bahan bakar

4.7.3 Audit Ekonomi Boiler PLTU 3 Air Anyer Bangka Belitung

Efisiensi merupakan perbandingan antara energy yang berguna untuk menghasilkan sesuatu di bandingkan dengan energy yang di masukan ke dalam system tersebut. Dengan kata lain semakin kecil efisiensi semakin besar energy yang di buang yang akan berdampak pada besarnya biaya yang di keluarkan. Apabila kita dapat meningkatkan nilai efisiensi pada peralatan, maka kita dapat meminimalkan energi yang terbuang, atau dapat di katakan kita dapat melakukan penghematan biaya.

4.7.3.1 Nilai Peluang Penghematan Boiler dengan Bahan Bakar HHV 3928 Kcal/Kg

Dari table perhitungan efisiensi boiler dapat di ketahui bahwa jumlah bahan bakar yang di bakar boiler adalah 24900 kg dengan HHV sebesar 3928 Kcal/kg. di pasar di peroleh bahwa harga batu bara dengan nilai tersebut bernilai USD 30.62 per ton, bila di kurskan ke rupiah di dapatkan Rp 407.246 (1 USD = Rp 13,300) yang berarti 1 kg batu bara adalah Rp 407.246.

$$PP = (1 - \frac{\eta_b}{\eta_{desain}}) \times M_B \times C_F \times F_B$$

$$PP = (1 - \frac{81.91}{89.6}) \times 17100 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times \text{Rp } 407.246 \times 1,3$$

$$PP = \text{Rp } 27.153.705,19 / \text{hari}$$

Jika kita mengasumsikan bahwa jumlah penghematan untuk hari hari yang lain sama seperti pada rata-rata, maka kita mendapatkan nilai penghematan selama setahun yaitu sebesar :

$$PP = \text{Rp } 27.153.705,19 / \text{hari} \times 365 \text{ hari/tahun}$$

$$PP = \text{Rp } 9.911.102.396 / \text{tahun}$$

$$PP = \text{Rp } 9.9 \text{ miliar/tahun}$$

Bila umur boiler adalah 10 tahun lagi dari sekarang dan besar bunga bank adalah 12 %, makakita dapat menghitung besarnya *present value* yang di miliki oleh pembangkit unit 2. Besarnya *present value* dari boiler unit 2 adalah :

$$P = A \left[\frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \right]$$

$$P = 9.911.102.396 \left[\frac{(1+0.12)^{10} - 1}{0.12(1+0.12)^{10}} \right]$$

$$P = \text{Rp } 56.408.857.360$$

$$P = \text{Rp } 56,408 \text{ Miliar}$$

4.7.3.2 Nilai Peluang Penghematan Boiler dengan Bahan Bakar HHV 5145 Kcal/Kg

Dari table perhitungan efisiensi boiler dapat diketahui bahwa jumlah bahan bakar yang di bakar boiler adalah 24900 kg dengan HHV sebesar 5145 Kcal/kg. di pasar diperoleh bahwa harga batu bara dengan nilai tersebut bernilai USD 62.49 per ton, bila di kurskan ke rupiah di dapatkan Rp 831.117 (1 USD = Rp 13,300) yang berarti 1 kg batu bara adalah Rp 831.117.

$$PP = (1 - \frac{\eta_b}{\eta_{desain}}) \times M_B \times C_F \times F_B$$

$$PP = (1 - \frac{84.29}{89.6}) \times 16.771 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times \text{Rp}$$

$$831.117 \times 1,3$$

$$PP = \text{Rp } 38.265.079,34 / \text{hari}$$

Jika kita mengasumsikan bahwa jumlah penghematan untuk hari hari yang lain sama seperti pada rata-rata, maka kita mendapatkan nilai penghematan selama setahun yaitu sebesar :

$$PP = \text{Rp } 38.265.079,34 / \text{hari} \times 365 \text{ hari/tahun}$$

$$PP = \text{Rp } 13.966.753.960 / \text{tahun}$$

$$PP = \text{Rp } 13.96 \text{ miliar/tahun}$$

Bila umur boiler adalah 10 tahun lagi dari sekarang dan besar bunga bank adalah 12 %, maka kita dapat menghitung besarnya *present value* yang di miliki oleh pembangkit unit 2. Besarnya *present value* dari boiler unit 2 adalah :

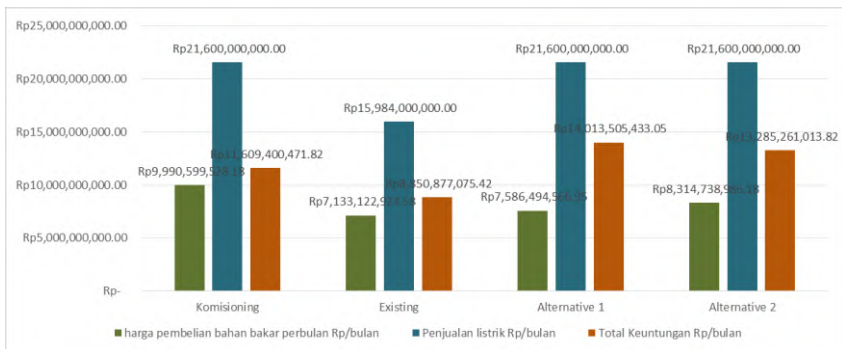
$$P = A \left[\frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \right]$$

$$P = 13.966.753.960 \left[\frac{(1+0.12)^{10} - 1}{0.12(1+0.12)^{10}} \right]$$

$$P = \text{Rp } 79.464.150.010$$

$$P = \text{Rp } 79,464 \text{ Miliar}$$

Nama	unit	HHV (High Heating Value)			
		Komisioning	Existing	Alternative 1	Alternative 2
Load	KW	30200	22200	31100	30300
efisiensi	%	30.03%	20.03%	25.45%	26.67%
Mcoal	kg/h	16710	17100	21940	20000
harga batu bara	Rp/kg	831.11	407.24	407.24	512.83
coal	kJ/kg	21541.1	16401.28	16401.28	17982.83
output listrik	kWh	21,600,000.00	15,984,000.00	21,600,000.00	21,600,000.00
Kebutuhan bahan bakar	kg	71,928,071.93	79,800,299.55	84,872,298.62	80,989,876.27
konsumsi perbulan	kg/bulan	12,020,790.90	17,515,771.84	18,629,050.60	16,213,441.07
harga pembelian bahan bakar perbulan	Rp/bulan	Rp 9,990,599,528.18	Rp 7,133,122,924.58	Rp 7,586,494,566.95	Rp 8,314,738,986.18
Harga listrik PLN	Rp/kWh	Rp 1,000.00	Rp 1,000.00	Rp 1,000.00	Rp 1,000.00
Penjualan listrik	Rp	Rp 21,600,000,000.00	Rp 15,984,000,000.00	Rp 21,600,000,000.00	Rp 21,600,000,000.00
Total Keuntungan	Rp/bulan	Rp 11,609,400,471.82	Rp 8,850,877,075.42	Rp 14,013,505,433.05	Rp 13,285,261,013.82



Gambar 4.13 Audit Ekonomi PLTU 3 Air Anyir Bangka Belitung

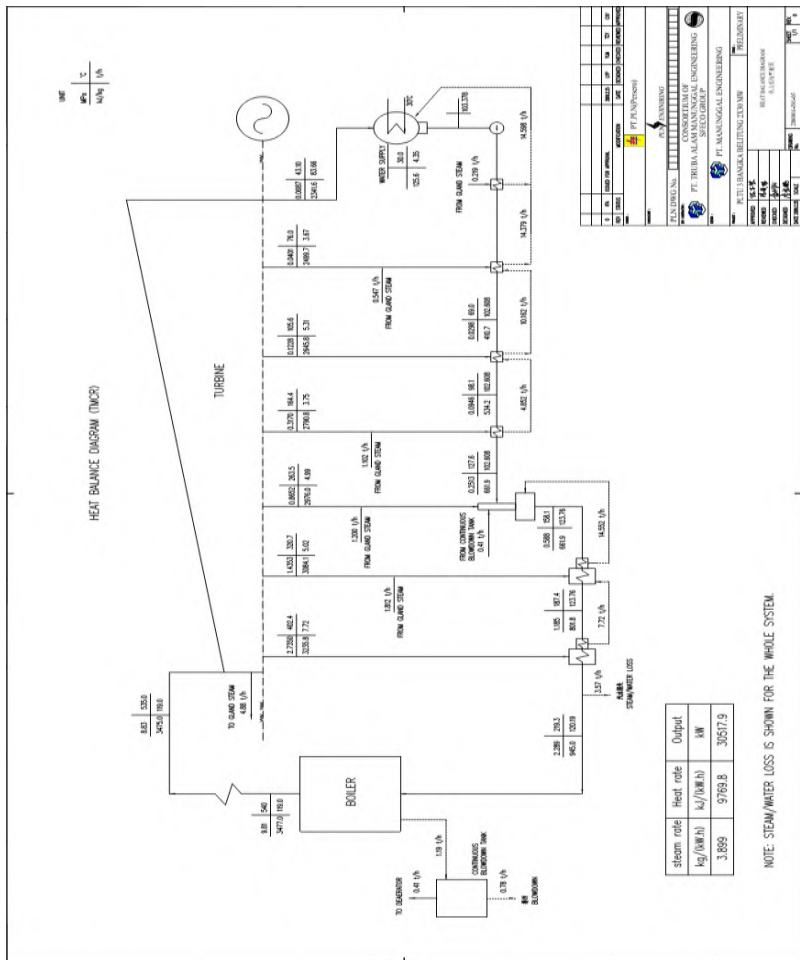
Pada Gambar 4.13 dapat kita ketahui saat keadaan komisioning beban pada pembangkit dapat mencapai 30MW dengan penjualan yang di dapat sebesar 21,6 Milyar sehingga keuntungan yang didapat sebesar 11,6 Milyar, tetapi pada saat keadaan existing beban pada pembangkit hanya bisa mencapai 22 MW sehingga penjualan yang di dapat sebesar 15,9 Milyar dengan keuntungan sebesar 8,8 Milyar. Sehingga adanya potential lost pada pembangkit sebesar 5,7 Milyar. Hal ini membuat pemangkit rugi sekitar 26,7%.

Kemudian, di analisa permasalahan tersebut dengan meningkatkan konsumsi dan menggunakan bahan bakar yang sama pada keadaan existing sehingga didapatkan solusi alternative 1 dengan meningkatkan konsumsi bahan bakar sebesar 21,9t/h untuk mencapai beban 30 MW, lalu di dapatkan penjualan sebesar 21,6 Milyar dengan keuntungan sebesar 14 Milyar Tetapi, alternative 1 tidak dapat di lakukan di karenakan pemakaian alat melebihi batas reabilitynya. Jadi, perlu di analisa ulang untuk mencari solusi baru.

Solusi baru yang didapat yaitu dengan mengganti bahan bakar yang berbeda supaya beban mencapai 30 MW, sehingga di temukan alternative 2 dengan penjualan sebesar 21,6 Milyar dengan keuntungan sebesar 13,2 Milyar.

LAMPIRAN A

HEAT BALANCE UNIT 2 PLTU 3 BANGKA BELITUNG



LAMPIRAN B

DATA OPERASIONAL UNIT 2 PLTU 3 BANGKA BELITUNG

BOILER UNIT 2 PLTU 3 AIR ANYIR BANGKA BELITUNG									
	22,6 MW	14,9 MW	22,2 MW	21,5 MW	15,7 MW	14,5 MW	Komrsioning 30,1 MW	DESIGN	satuan
Load	22600	14900	22200	21500	15700	14500	30100	30200	KW
Coal Flow	17900	12800	17100	16100	12700	11900	16710.00		kg/hr
mainsteam flow	99400	70900	116100	91100	74300	71800	116570		kg/hr
mainsteam pressure	7.6	7.6	8	7.9	8	7.9	8.3		Mpa
mainsteam temperature	520.1	510.4	513.2	513.3	506	516.5	536.85		C
feed water temperature	205.6	188.9	198.1	202.2	192.3	188.6	217.35		C
%CO ₂ in Flue gas	0	0	0	0	0	0	11.03		%
%CO in Flue gas	0	0	0	0	0	0	0		%
%O ₂ in Flue gas	3.2	3.6	3.1	4.5	5.5	5.6	8.76		%
average flue gas temp	153.15	159.22	155.85	140.5	138.65	137.5	150.97		C
ambient temp	30	30	30	30	30	30	30.6		C
humidity in ambient air	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024		kg/kg dry air
surface temp of boiler	51	51	51	51	51	51	51		C
wind velocity around boiler	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2		C
GCV of bottom ash	0	0	0	0	0	0	0		kCal/kg
GCV of fly ash	0	0	0	0	0	0	0		kCal/kg
ratio of bottom ash to fly ash	80:2000	80:2000	80:2000	80:2000	80:2000	80:2000	81:2000		
ash content in fuel	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	7.41		%
moisture in coal	12.33	12.33	12.33	12.33	12.33	12.33	13.75		%
carbon content	65.34	65.34	65.34	65.34	65.34	65.34	40.4		%
hydrogen content	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4		%
nitrogen content	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	0.68		%
oxygen content	12.15	12.15	12.15	12.15	12.15	12.15	9.85		%
sulfur content	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.35		%
LHV of coal	16401.28	16401.28	16401.28	16401.28	16401.28	16401.28	21541.1		kJ/kg
GCV of coal	3928	3928	3928	3928	3928	3928	5145		kCal/kg

Hasil Running Gate Cycle 30 MW

Lampiran D

Spesifikasi Batu Bara 4298,64 Kcal/kg

	Unit	COAL	
		Typical	Range
Total Moisture	% arb	30	<32.00
Proximate analysis			
Inherent Moisture	% adb	12	<15.00
Ash	% adb	5	
Volatile matter	% adb	41	
Fixed carbon	% adb	42	By diff
Total Sulphur	% adb	0.3	
Ultimate analysis			
Carbon	% daf	72.70	
Hydrogen	% daf	5.24	
Nitrogen	% daf	0.82	
Sulphur	% daf	0.24	
Chlorine	% daf	0.23	
Oxygen + Others	% daf	20.77	
Total	% daf	100	
Hardness	HGI	58	
Caloric value			

BAB V.

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada dasarnya penelitian ini menitik beratkan pada penggunaan *software Gate Cycle* untuk menganalisis sebuah pembangkit. dalam penelitian ini *software* tersebut digunakan untuk menganalisis pengaruh perubahan bahan bakar terhadap performa PLTU 3 Air Anyir Bangka. dari analisis tersebut diperoleh beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Dengan perbedaan bahan bakar pada suatu pembangkit membuat performa pembangkit menurun. Hal tersebut dilihat dari penurunan power pada saat komisioning sebesar 30 MW menjadi 22 MW atau 26,67%, sehingga hal tersebut di karenakan perubahan bahan bakar tanpa analisa yang dalam yang awalnya sebesar 5145 Kcal/kg menjadi 3928 Kcal/kg pada konsumsi bahan bakar yang sama.
2. Dalam mengatasi kehilangan beban di buat analisa menggunakan *software gate cycle* untuk mengatasi hal tersebut dengan meningkatkan konsumsi bahan bakar yang pada kondisi maksimum sebesar 80% atau 20 t/h , sehingga di dapat bahan bakar yang ideal yaitu 4298.64 kcal/kg.
3. Dengan perbedaan bahan bakar yaitu 5145 kcal/kg, 3928 kcal/kg, dan 4298.64 kcal/kg terhadap laju aliran uap dan laju konsumsi bahan bakar masih masing adalah 125,19 t/h, 145,78 t/h, dan 138,58 t/h untuk laju aliran uap hal ini meninggkat sebesar 1 – 2 % .sedangkan untuk laju konsumsi bahan bakar masing masing adalah 16,71 t/h, 21,94 t/h ,dan 20 t/h.
4. Dengan perbedaan bahan bakar yaitu 5145 kcal/kg, 3928 kcal/kg, dan 4298.64 kcal/kg terhadap net thermal

efficiency masing masing sebesar 30.03%, 25,45%, dan 24,71%.

5. Dengan perbedaan bahan bakar yaitu 5145 kcal/kg, 3928 kcal/kg, dan 4298.64 kcal/kg terhadap heat rate akan menaikkan net heat rate sebesar 11651.1[kJ/kWh] menjadi 13916,3 [kJ/kWh]. Hal ini meningkat sebesar 25 % dari kondisi komisioning.
6. Nilai efisiensi boiler paling rendah berdasarkan direct methode yaitu 86,92% pada bahan bakar 3928 Kcal.kg. Sedangkan secara indirect methode yaitu 81.91% pada bahan bakar 3928 Kcal/kg dengan rincian kerugian akibat gas buang 7,64%, kandungan hidrogen bahan bakar 6,59%, kelembaban udara 2,01% dan perpindahan panas permukaan boiler 0,2%. Nilai efisiensi boiler tertinggi berdasarkan direct method yaitu 88,98% pada bahan bakar 5145 Kcal/kg. sedangkan secara indirect method yaitu 84,29% pada bahan bakar 5145 Kcal/kg.
7. Dengan perbedaan keadaan pada saat komisioning dan eksisting membuat potential lost sebesar 26,7 % atau 5,7 Milyar, kemudian di dapatkan solusi alternative 1 untuk mencapai kondisi yang sama pada saat komisioning dengan keuntungan sebesar 14 milyar, tetapi tidak dapat di gunakan karena melebihi batas maksimum realibility dari peralatan yang ada, sehingga di dapatkan alternative 2 dengan keuntungan sebesar 13,2 Milyar.

5.2 *Saran*

Beberapa saran yang bisa diberikan setelah dilakukannya penelitian antara lain sebagai berikut:

1. Diharapkan adanya penelitian lebih lanjut tentang pengaruh perubahan bahan bakar PLTU 3 Air

Anyir Bangka terhadap laju alir massa air pendingin dan selisih temperatur air pendingin dengan *software* Gate Cycle.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang proses menganalisis suatu PLTU 3 Air Anyir Bangka oleh *software* Gate Cycle, karena pengetahuan dan informasi mengenai *software* ini di Indonesia khususnya di Jurusan Teknik Mesin ITS masih sangat terbatas.
3. Dengan merekomendasikan bahan bakar 4298.64 kcal/kg dapat diketahui bahwa beban dapat meningkat menjadi 30,6 MW dengan konsumsi bahan bakar yang maksimum yaitu 20 t/h sehingga menghasilkan performa PLTU 3 Air Anyir Bangka yang paling baik.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moran, Howard N. 2006. Fundamental of engineering thermodynamics. England : John and wiley son Ltd.
- [2] Ronald A. Zeitz. 1997. Energy Efficiency Handbook. Burke : Council of Industrial Boiler Owner
- [3] Babcock and Wilcox. 2005. Steam, Its Generation and Use. USA : Babcock and Wilcox Company
- [4] Bureau of Energy Efficiency team. 2005. Energy performance assessment for equipment & utility systems. New Delhi : Bureau of Energy Efficiency
- [5] Prabir, Basu. 2006. Combustion and Gasification in Fluidized Beds. Halifax : Taylor & Francis
- [6] Asmudi, 2009. Analisa Unjuk Kerja Boiler terhadap Penurunan Daya pada PLTU PT. Indonesia Power UBP Perak. ITS Surabaya : Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan
- [7] American boiler & mechanical, Boiler preventive maintenance. <http://www.americanboilermech.com>. Diakses pada tanggal 16 Juni 2015
- [8] Improve Plant Efficiency and Reduce CO₂ Emissions When Firing High-Moisture Coals. Powermag.com. diakses pada tanggal 23 agustus 2015
- [9] Patel, Chetan T. 2013. Efficiency With Different Gcv Of Coal And Efficiency Improvement Opportunity In Boiler. India : Dept of mechanical engineering, government engineering college

- [10] Sahu, Rajendra Prasad 2014. To Improve Thermal Efficiency of 27mw Coal Fired Power Plant. Bhopal : Department of Mechanical Engineering, Technocrats Institute of Technology

BIODATA PENULIS



Doni Muharom lahir di Jakarta, 20 Juni 1994. Merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara pasangan Baah Basarah dan Siti Nurlela. Pendidikan formal yang ditempuh adalah SDN Pulogebang 04 PG, SMPN 284 Jakarta timur, dan SMAN 103 Jakarta. Sejak muda, penulis selalu tertarik dengan dunia teknik. Oleh karena itu, penulis memilih untuk melanjutkan studinya di jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang terdaftar dengan NRP 2112100072.

Selama masa kuliah, penulis aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Mesin ITS sebagai Kepala Biro Internal, Departemen Organisasi. Penulis juga pernah mengemban amanah sebagai Koordinator Laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas, Teknik Mesin ITS Di Jurusan Teknik Mesin, penulis mengambil bidang studi Konversi Energi sebagai bahasan tugas akhir yang memiliki topik Pembangkit Listrik di bawah bimbingan Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc.

Jika ada informasi, pertanyaan maupun saran yang ingin disampaikan kepada Penulis, dapat melalui email doni.muharom@gmail.com.

(halaman ini sengaja dikosongkan)